



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



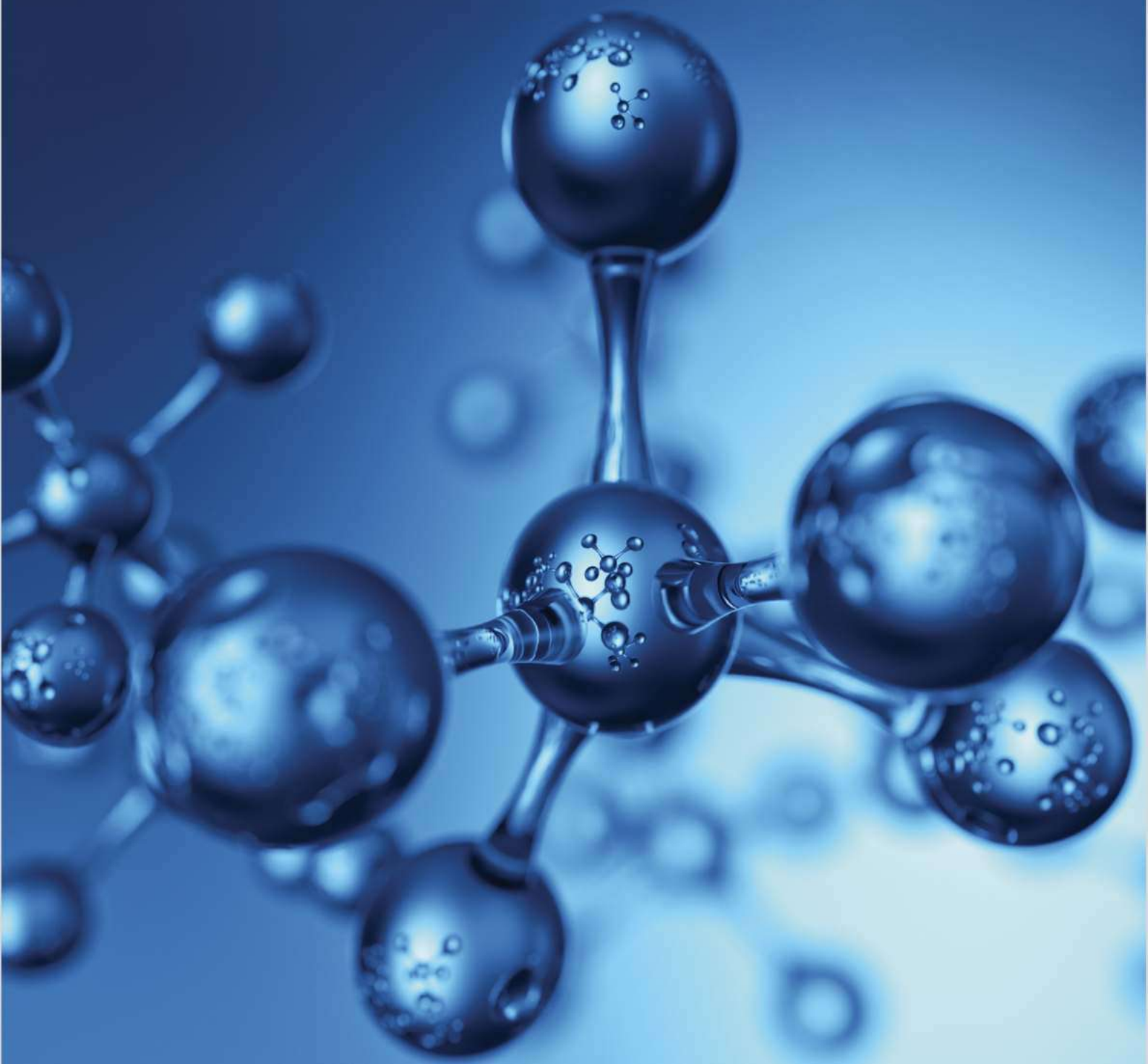
เคมี เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๔



ตารางธาตุ

1	2	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1 H hydrogen 1.01	2 He helium 4.00	5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.01	8 O oxygen 16.00	9 F fluorine 19.00	10 Ne neon 20.18
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.01	11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30	13 Al aluminum 26.98	14 Si silicon 28.08	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur 32.06
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids *	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids **	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium
111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson
119 Uue unbinilium	120 Uub ununbium	121 Uut triatlantium	122 Uuq quattuvalentium	123 Uup pentavalentium	124 Uuh hexavalentium	125 Uus heptavalentium	126 Uuo octavalentium
127 Uuhf helfandium	128 Uuhs shnorkelium	129 Uuho ohmium	130 Uuhv valerium	131 Uufl flerkium	132 Uuol lithium	133 Uuos sulfur	134 Uuoar argon
135 Uubh hassium	136 Uubc californium	137 Uubn neuborium	138 Uubm mendelevium	139 Uubg gishburgium	140 Uubl livermorium	141 Uubt tennessine	142 Uuoog oganesson

โลหะ

อโลหะ

กึ่งโลหะ

กลุ่มธาตุ *แลนทานอยด์	57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
กลุ่มธาตุ **แอกทิโนยด์	89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๑ พ.ศ. ๒๕๖๓

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียน สสวท. ฉบับสิ่งพิมพ์ที่ได้จัดทำตาม มาตรฐานหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ทุกประการ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงหนังสือเรียน สสวท. ผ่านเทคโนโลยี ดิจิทัลเพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และ ผู้สนใจทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายและสะดวก รวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่างๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวน สิทธิในหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่โดยมิได้รับอนุญาต

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง ความปลอดภัย และทักษะในปฏิบัติการเคมี อะตอมและสมบัติของธาตุ และพันธะเคมี ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญและเพียงพอสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจสอบความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิ้มปิงานงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อ AR ที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนและสามารถเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์รายการสื่อเพิ่มเติมได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนมีดังนี้

คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

แบบฝึกหัด



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ตัวอย่าง



การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

กิจกรรมเสนอแนะ



การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้

ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีภาระวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

ศัพท์น่ารู้



ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติม และสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน

สื่อ AR (Augmented Reality)



สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ ม.ปลาย"

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ

1



ความปลอดภัย
และทักษะ
ในปฏิบัติการเคมี

บทที่ 1	ความปลอดภัยและทักษะในปฏิบัติการเคมี	1
1.1	ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมี	5
1.2	อุบัติเหตุจากสารเคมี	14
1.3	การวัดปริมาณสาร	16
1.4	หน่วยวัด	31
1.5	วิธีการทางวิทยาศาสตร์	35
	แบบฝึกหัดท้ายบท	40

2



อะตอม
และสมบัติของธาตุ

บทที่ 2	อะตอมและสมบัติของธาตุ	44
2.1	แบบจำลองอะตอม	48
2.2	อนุภาคในอะตอมและไอโซโทป	66
2.3	การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม	71
2.4	ตารางธาตุและสมบัติของธาตุหมู่หลัก	79
2.5	ธาตุแทรนซิชัน	95
2.6	ธาตุกัมมันตรังสี	102
2.7	การนำธาตุไปใช้ประโยชน์และผลกระทบต่อ สิ่งมีชีวิต	119
	แบบฝึกหัดท้ายบท	128

สารบัญ

3



บทที่ 3	พันธะเคมี	132
3.1	สัญลักษณ์แบบจุดของลิทวีสและกฎออกเตต	135
3.2	พันธะไอออนิก	136
3.3	พันธะโคเวเลนต์	163
3.4	พันธะโลหะ	197
3.5	การใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ	199
	แบบฝึกหัดท้ายบท	202

พันธะเคมี

ภาคผนวก

ขั้นตอนการใช้งานอุปกรณ์วัดปริมาณสาร	207
คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 1	210
ชื่อธาตุ	216
บรรณานุกรม	219
ที่มาของรูป	221
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	222



ipst.me/7649

1

| ความปลอดภัยและทักษะในปฏิบัติการเคมี



เครื่องมือที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการสำหรับการเรียนระดับมัธยมศึกษา
เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปกรวย กระบอกตวง



คำถามสำคัญ

1. การทำปฏิบัติการเคมีให้เกิดความปลอดภัยต้องคำนึงถึงเรื่องใดบ้าง
2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการมีอะไรบ้าง เพราะเหตุใดจึงต้องเลือกและใช้ให้เหมาะสม
3. เพราะเหตุใดการรายงานการวัดปริมาณจึงต้องมีหน่วยกำกับ และคำนึงถึงเลขนัยสำคัญ



จุดประสงค์การเรียนรู้

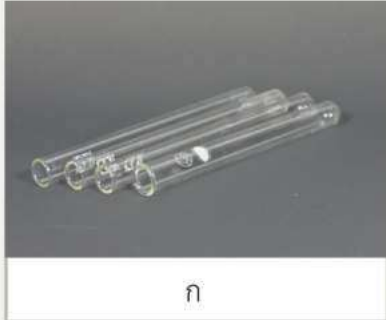
1. ระบุความเป็นอันตรายของสารเคมีจากสัญลักษณ์และข้อมูลบนฉลากสารเคมี
2. อธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้นและการปฏิบัติตนที่แสดงถึงความระมัดระวังในการทำปฏิบัติการเคมี เพื่อให้มีความปลอดภัยทั้งต่อตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
3. เลือกและใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ และวัดปริมาณต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม
4. อ่านค่าปริมาณจากการวัดโดยแสดงเลขนัยสำคัญที่ถูกต้อง
5. ระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร
6. เปลี่ยนหน่วยวัดให้เป็นหน่วยในระบบเอสไอด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย
7. นำเสนอแผนการทดลอง ทดลอง และเขียนรายงานการทดลอง



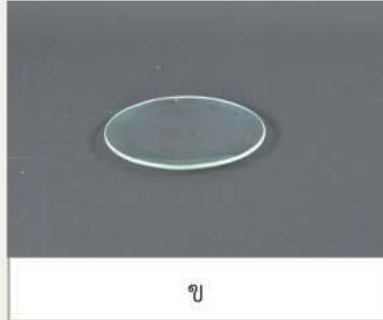
ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง
 - 1.1 ถ้านักเรียนทำขบวนการตรวจสอบสารเคมีตกแตกและสารเคมีหกเปื้อนโต๊ะ นักเรียนต้องกันเพื่อน ๆ ออกจากบริเวณนั้น และแจ้งอาจารย์ผู้ดูแลการทดลอง
 - 1.2 วิธีจุดตะเกียงแอลกอฮอล์ทำโดยการเอียงตะเกียงต่อไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์อื่น
 - 1.3 สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดจะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากแดงเป็นน้ำเงิน
 - 1.4 ควรสวมถุงมือ และใช้ผ้าปิดปาก ปิดจมูก เมื่อต้องใช้สารเคมีที่มีสัญลักษณ์ความเป็นอันตรายรูปหัวกะโหลกไขว้
 - 1.5 หลอดหยดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทสารปริมาณน้อย ๆ
 - 1.6 การตวงปริมาตรน้ำ สามารถใช้ถ้วยตวงของเหลวสำหรับทำขนมแทนการตวงด้วยปิเปตเตอร์ได้

2. จับคู่รูปอุปกรณ์กับชื่อให้ถูกต้อง



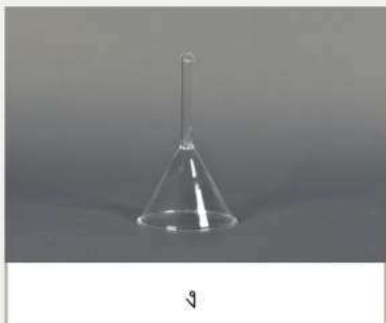
ก



ข



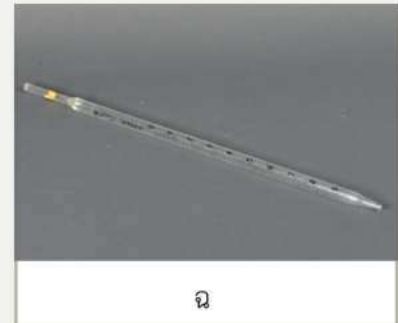
ค



ง



จ



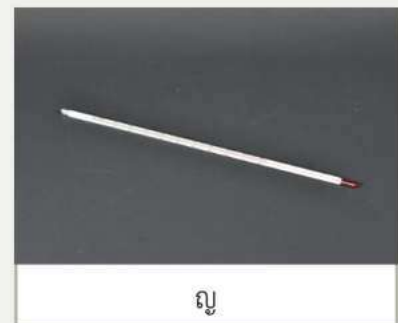
ฉ



ช



ซ



ญ

- 2.1 ปีกเกอร์
- 2.2 กระบอกตวง
- 2.3 เทอร์มอมิเตอร์
- 2.4 กรวยกรอง
- 2.5 หลอดทดลอง

- 2.6 บิวเรตต์
- 2.7 ปีเปตต์
- 2.8 กระจกนาฬิกา
- 2.9 ถ้วยระเหยสาร

3. จากรูปต่อไปนี้ อุปกรณ์ใดใช้ในการวัดปริมาตรสาร



ก



ข



ค



ง



จ



ฉ



ช



ซ



ญ

การทดลองถือเป็นหัวใจของการศึกษาค้นคว้าทางเคมีที่สามารถนำไปสู่การค้นพบและความรู้ใหม่ทางเคมี นอกจากนี้การปฏิบัติการทดลองยังสามารถช่วยให้นักเรียนเกิดความรู้และความเข้าใจในบทเรียนได้ดียิ่งขึ้น การทดลองทางเคมีสำหรับนักเรียนนิยมทำในห้องปฏิบัติการ โดยมีข้อควรปฏิบัติและควรหลีกเลี่ยงที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการ การจัดการเกี่ยวกับอุบัติเหตุจากสารเคมี ความเที่ยงความแม่นยำ หน่วยวัด และวิธีการทางวิทยาศาสตร์

การทำปฏิบัติการเคมีได้อย่างปลอดภัยจะต้องคำนึงถึงเรื่องใดบ้าง

1.1 ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมี

การทำปฏิบัติการเคมีส่วนใหญ่ต้องมีความเกี่ยวข้องกับสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งผู้ทำปฏิบัติการต้องตระหนักถึงความปลอดภัยของตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม โดยผู้ทำปฏิบัติการควรทราบเกี่ยวกับประเภทของสารเคมีที่ใช้ ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมี และการกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้วหลังเสร็จสิ้นปฏิบัติการ เพื่อให้สามารถทำปฏิบัติการเคมีได้อย่างปลอดภัย

1.1.1 ประเภทของสารเคมี

สารเคมีมีหลายประเภท แต่ละประเภทมีสมบัติแตกต่างกัน สารเคมีจึงจำเป็นต้องมีฉลากที่มีข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นอันตรายของสารเคมีเพื่อความปลอดภัยในการจัดเก็บ การนำไปใช้ และการกำจัด โดยฉลากของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการควรมีข้อมูล ดังนี้

1. ชื่อผลิตภัณฑ์
2. รูปสัญลักษณ์ แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมี
3. คำเตือน ข้อมูลความเป็นอันตราย และข้อควรระวัง
4. ข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตสารเคมี

ตัวอย่างของฉลาก แสดงดังรูป 1.1



รูป 1.1 ตัวอย่างฉลากของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย

บนฉลากบรรจุภัณฑ์มีสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายที่สื่อความหมายได้ชัดเจนเพื่อให้ผู้ใช้สังเกตได้ง่าย สัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายมีหลายระบบ ในที่นี้จะกล่าวถึง 2 ระบบ ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้สากล และ National Fire Protection Association Hazard Identification System (NFPA) เป็นระบบที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งสัญลักษณ์ทั้งสองระบบนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปบนบรรจุภัณฑ์สารเคมี

ในระบบ GHS จะแสดงสัญลักษณ์ในสี่เหลี่ยมกรอบสีแดง พื้นสีขาว ลักษณะดังรูป 1.2



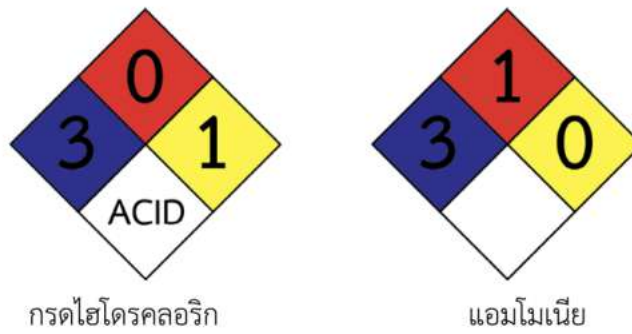
รูป 1.2 ตัวอย่างสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายในระบบ GHS



ตรวจสอบความเข้าใจ

จากฉลากของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย สารเคมีทั้งสองมีอันตรายตามระบบ GHS อย่างไรบ้าง

สำหรับสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายในระบบ NFPA จะใช้สีแทนความเป็นอันตรายในด้านต่าง ๆ ได้แก่ สีแดงแทนความไวไฟ สีน้ำเงินแทนความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ สีเหลืองแทนความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใส่ตัวเลข 0 ถึง 4 เพื่อระบุระดับความเป็นอันตรายจากน้อยไปหามาก และช่องสีขาวใช้ใส่อักษรหรือสัญลักษณ์ที่แสดงสมบัติที่เป็นอันตรายด้านอื่น ๆ ดังตัวอย่างในรูป 1.3



รูป 1.3 สัญลักษณ์ความเป็นอันตรายในระบบ NFPA ของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย



ตรวจสอบความเข้าใจ

จากสัญลักษณ์ความเป็นอันตรายในระบบ NFPA ของกรดไฮโดรคลอริกและแอมโมเนีย สารเคมีใดเป็นอันตรายมากกว่ากันในด้านความไวไฟ ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี



กิจกรรมเสนอแนะ

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลฉลากสารเคมีในห้องปฏิบัติการของโรงเรียน จากนั้นอภิปรายร่วมกันว่าเหมือนหรือแตกต่างจากฉลากในระบบ GHS และ NFPA หรือไม่ อย่างไร

นอกจากฉลากและสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายต่าง ๆ ที่ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์ของสารเคมีแล้ว สารเคมีทุกชนิดยังต้องมีเอกสารความปลอดภัย (safety data sheet, SDS) ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารเคมีอย่างละเอียด เช่น สมบัติและองค์ประกอบของสารเคมี ความเป็นอันตราย การปฐมพยาบาลเบื้องต้น



กิจกรรมเสนอแนะ

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเอกสารความปลอดภัยของสารเคมีแล้วระบุข้อมูลเบื้องต้น เช่น การป้องกันตนเอง (personal protection) การปฐมพยาบาล (first aid measures)

1.1.2 ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมี

การทำปฏิบัติการเคมีให้เกิดความปลอดภัยนอกจากต้องทราบข้อมูลของสารเคมีที่ใช้แล้ว ผู้ทำปฏิบัติการควรทราบเกี่ยวกับการปฏิบัติตนเบื้องต้นทั้งก่อน ระหว่าง และหลังทำปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้

ก่อนทำปฏิบัติการ

- 1) ศึกษาขั้นตอนหรือวิธีการทำปฏิบัติการให้เข้าใจ วางแผนการทดลอง หากมีข้อสงสัยต้องสอบถามครูผู้สอนก่อนที่จะทำการทดลอง
- 2) ศึกษาข้อมูลของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง เทคนิคการใช้เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนวิธีการทดลองที่ถูกต้องและปลอดภัย
- 3) แต่งกายให้เหมาะสม เช่น สวมกางเกงหรือกระโปรงยาว สวมรองเท้าหุ้มข้อปิดส้นเตี้ย คนที่มีผมยาวควรรวบผมให้เรียบร้อย หลีกเลี่ยงการสวมใส่เครื่องประดับและคอนแทคเลนส์

ขณะทำปฏิบัติการ

1) ข้อปฏิบัติโดยทั่วไป

1.1 สวมแว่นตานิรภัย สวมเสื้อคลุมปฏิบัติการที่ติดกระดุมทุกเม็ด ควรสวมถุงมือเมื่อต้องใช้สารกัดกร่อนหรือสารที่มีอันตราย ควรสวมผ้าปิดปากเมื่อต้องใช้สารเคมีที่มีไอระเหย และทำปฏิบัติการในที่ซึ่งมีอากาศถ่ายเทหรือในตู้ดูดควัน ดังรูป 1.4



รูป 1.4 การแต่งกายเพื่อทำปฏิบัติการที่ใช้สารกัดกร่อน สารที่มีอันตราย หรือสารที่มีไอระเหย

1.2 ห้ามรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม หรือทำกิจกรรมอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิบัติการ

1.3 ไม่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการตามลำพังเพียงคนเดียว เพราะเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น จะไม่มีใครทราบและไม่อาจช่วยได้ทันเวลาที่ หากเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ ต้องแจ้งให้ครูผู้สอน ทราบทันทีทุกครั้ง

1.4 ไม่เล่นและไม่รบกวนผู้อื่นในขณะที่ทำปฏิบัติการ

1.5 ปฏิบัติตามขั้นตอนและวิธีการอย่างเคร่งครัด ไม่ทำการทดลองใด ๆ ที่นอกเหนือ จากที่ได้รับมอบหมาย และไม่เคลื่อนย้ายสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ส่วนกลางที่ต้องใช้ร่วมกัน นอกจากได้รับอนุญาตจากครูผู้สอนเท่านั้น

1.6 ไม่ปล่อยให้ อุปกรณ์ให้ความร้อน เช่น ตะเกียงแอลกอฮอล์ เตาแผ่นให้ความร้อน (hot plate) ทำงานโดยไม่มีคนดูแล และหลังจากใช้งานเสร็จแล้วให้ดับตะเกียงแอลกอฮอล์หรือปิด เครื่องและถอดปลั๊กไฟออกทันที แล้วปล่อยให้เย็นก่อนการจัดเก็บ เมื่อใช้เตาแผ่นให้ความร้อนต้อง ระวังไม่ให้สายไฟขาดบนอุปกรณ์

2) ข้อปฏิบัติในการใช้สารเคมี

2.1 อ่านชื่อสารเคมีบนฉลากให้แน่ใจก่อนนำสารเคมีไปใช้

2.2 การเคลื่อนย้าย การแบ่ง และการถ่ายเทสารเคมีต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะ อย่างยิ่งสารอันตราย และควรใช้อุปกรณ์ เช่น ข้อนตักสารและปิเปตที่แห้งและสะอาด การเทของเหลว จากขวดบรรจุสารให้เต้านตรงข้ามฉลาก เพื่อป้องกันความเสียหายของฉลากเนื่องจากการสัมผัสสารเคมี

2.3 การทำปฏิกิริยาของสารในหลอดทดลอง ต้องหันปากหลอดทดลองออกจากตัวเอง และผู้อื่นเสมอ

2.4 ห้ามชิมหรือสูดดมสารเคมีโดยตรง ถ้าจำเป็นต้องทดสอบกลิ่นให้ใช้มือโบกให้อากาศของสารเข้าจมูกเพียงเล็กน้อย

2.5 การเจือจางกรด ห้ามเทน้ำลงกรดแต่ให้เทกรดลงน้ำ เพื่อให้ปริมาณมากช่วย ถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการละลาย

2.6 ไม่เทสารเคมีที่เหลือจากการเทหรือตักออกจากขวดสารเคมีแล้วกลับเข้าขวดอย่าง เด็ดขาด ให้เทใส่ภาชนะทิ้งสารที่จัดเตรียมไว้

2.7 เมื่อสารเคมีหกในปริมาณเล็กน้อยให้กวาดหรือเช็ด แล้วทิ้งลงในภาชนะสำหรับทิ้ง สารที่เตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ หากหกในปริมาณมากให้แจ้งครูผู้สอน

หลังทำปฏิบัติการ

1) ทำความสะอาดอุปกรณ์ เครื่องแก้ว และวางหรือเก็บในบริเวณที่จัดเตรียมไว้ให้ รวมทั้ง ทำความสะอาดโต๊ะทำปฏิบัติการ

2) ก่อนออกจากห้องปฏิบัติการให้ถอดอุปกรณ์ป้องกันอันตราย เช่น เสื้อคลุมปฏิบัติการ แวนตา นิรภัย ถุงมือ

1.1.3 การกำจัดสารเคมี

สารเคมีที่ใช้แล้วหรือเหลือใช้จากการทำปฏิบัติการเคมี จำเป็นต้องมีการกำจัดอย่างถูกวิธี เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

การกำจัดสารเคมีแต่ละประเภท สามารถปฏิบัติได้ดังนี้

- 1) สารเคมีที่เป็นของเหลวไม่อันตรายที่ละลายน้ำได้และมี pH เป็นกลาง ปริมาณไม่เกิน 1 ลิตร สามารถเทลงอ่างน้ำและเปิดน้ำตามมาก ๆ ได้
- 2) สารละลายเข้มข้นบางชนิด เช่น กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่ควรทิ้งลงอ่างน้ำหรือท่อระบายน้ำ ควรเจือจางก่อนเทลงอ่างน้ำ ถ้ามีปริมาณมากต้องทำให้เป็นกลางก่อน
- 3) สารเคมีที่เป็นของแข็งไม่อันตราย ปริมาณไม่เกิน 1 กิโลกรัม สามารถใส่ในภาชนะที่ปิดมิดชิด พร้อมทั้งติดฉลากชื่อให้ชัดเจน ก่อนทิ้งในที่ซึ่งจัดเตรียมไว้
- 4) สารไวไฟ ตัวทำละลายที่ไม่ละลายน้ำ สารประกอบของโลหะเป็นพิษ หรือสารที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ห้ามทิ้งลงอ่างน้ำ ให้ทิ้งไว้ในภาชนะที่ทางห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้ให้



รู้หรือไม่

ในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ออกแบบการทดลองที่ไม่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นอันตราย เลือกใช้สารเคมีและปฏิกิริยาเคมีที่ปลอดภัยและมีความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน ใช้อุปกรณ์ทดแทนสำหรับทำปฏิบัติการแบบย่อยส่วน เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีและพลังงาน อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย



แบบฝึกหัด 1.1

- พิจารณาข้อมูลบนฉลากของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และวงกลมเพื่อระบุส่วนที่แสดงข้อมูลต่อไปนี้
 - ชื่อผลิตภัณฑ์
 - รูปสัญลักษณ์ แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมี
 - คำเตือน ข้อมูลความเป็นอันตราย และข้อควรระวัง

Sodium hydroxide, solid

**DANGER**

Causes severe skin burns and eye damage.

PREVENTION

Do not breathe dust. Wash skin and eyes thoroughly after handling. Wear protective gloves and clothing, and eye and face protection.

RESPONSE**If swallowed:** Rinse mouth. Do NOT induce vomiting.**If in eyes:** Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.**If in skin (or hair):** Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. Wash contaminated clothing before reuse.**If inhaled:** Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. Immediately call a doctor or other medical personnel.**STORAGE**

Store locked up. Keep container tightly closed.

DISPOSAL

Dispose of contents to an EPA permitted facility.

- พิจารณาตัวอย่างฉลากสารเคมีต่อไปนี้

U5432.2500 2.51

Ammonia solution 25%

แอมโมเนีย

2.5 L

Nitric Acid,
69.0 - 70.0%

SAF-T-DATA™ System

HEALTH	FLAMMABILITY	REACTIVITY	CONTACT
4	0	3	4
EXTREME	NONE	SEVERE	EXTREME

LABORATORY PROTECTIVE EQUIPMENT

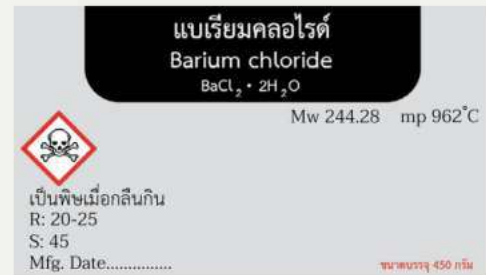
SCUBES & SHIELD	LAB COAT & APRON	VENT HOOD	PROPER GLOVE
-----------------	------------------	-----------	--------------

STORAGE COLOR WHITE

กรดไนตริก



โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต



แบเรียมคลอไรด์



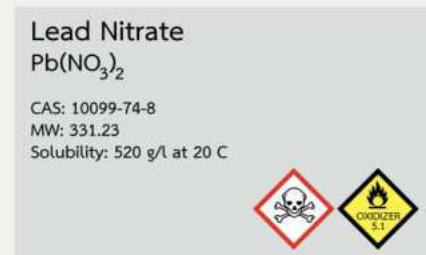
โซเดียมซัลเฟต



คอปเปอร์(II)ไนเตรต



โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



เลด(II)ไนเตรต

- 2.1 สารเคมีใดไม่ควรวางใกล้เปลวไฟ
- 2.2 สารเคมีใดเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 2.3 สารเคมีใดมีฤทธิ์กัดกร่อนผิวหนัง
- 2.4 เมื่อสัมผัสกับโซเดียมซัลเฟต ควรปฏิบัติอย่างไร
- 2.5 สารละลายเลด(II)ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) เข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ที่เหลือจากการทดลอง 5 มิลลิลิตร ควรทิ้งอย่างไร

3. จากรูปผู้ทำปฏิบัติการควรปรับปรุงสิ่งใดบ้าง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการเคมี



1.2 อุบัติเหตุจากสารเคมี

ในการทำปฏิบัติการเคมีอาจเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ จากการใช้สารเคมีได้ ซึ่งหากผู้ทำปฏิบัติการมีความรู้ในการปฐมพยาบาลเบื้องต้นจะสามารถลดความรุนแรงและความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ โดยการปฐมพยาบาลเบื้องต้นจากอุบัติเหตุจากการใช้สารเคมี มีข้อปฏิบัติดังนี้

การปฐมพยาบาลเมื่อร่างกายสัมผัสสารเคมี

1. ถอดเสื้อผ้าบริเวณที่เปื้อนสารเคมีออก และขับสารเคมีออกจากร่างกายให้มากที่สุด
2. กรณีเป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดหรือเบส ให้ล้างบริเวณที่สัมผัสสารเคมีด้วยการเปิดน้ำไหลผ่านปริมาณมาก
3. กรณีเป็นสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำ ให้ล้างบริเวณที่สัมผัสสารเคมีด้วยน้ำสบู่
4. หากทราบว่าสารเคมีที่สัมผัสร่างกายคือสารใด ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี

**กรณีที่ร่างกายสัมผัสสารเคมีในปริมาณมากหรือมีความเข้มข้นสูง
ให้ปฐมพยาบาลเบื้องต้นแล้วนำส่งแพทย์**

การปฐมพยาบาลเมื่อสารเคมีเข้าตา

ตะแคงศีรษะโดยให้ตาด้านที่สัมผัสสารเคมีอยู่ด้านล่าง ล้างตาโดยการเปิดน้ำเบา ๆ ไหลผ่านตาดังกล่าวให้น้ำไหลผ่านตาข้างที่โดนสารเคมี ดังรูป 1.5 พยายามลืมตาและกรอกตาในน้ำอย่างน้อย 10 นาที หรือจนกว่าแน่ใจว่าชะล้างสารออกหมดแล้ว ระวังไม่ให้น้ำเข้าตาอีกข้างหนึ่ง แล้วนำส่งแพทย์ทันที



รูป 1.5 การปฐมพยาบาลเมื่อสารเคมีเข้าตา

การปฐมพยาบาลเมื่อสูดดมแก๊สพิษ

1. เมื่อมีแก๊สพิษเกิดขึ้น ต้องรีบออกจากบริเวณนั้นและไปบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกทันที
2. หากมีผู้ที่สูดดมแก๊สพิษจนหมดสติหรือไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ ต้องรีบเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณนั้นทันที โดยที่ผู้ช่วยเหลือต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม เช่น หน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ผ้าปิดปาก
3. ปลดเสื้อผ้าเพื่อให้ผู้ประสบอุบัติเหตุหายใจได้สะดวกขึ้น หากหมดสติให้จับนอนคว่ำและตะแคงหน้าไปด้านใดด้านหนึ่ง เพื่อป้องกันโคลนลื่นกีดขวางทางเดินหายใจ
4. สังเกตการเต้นของหัวใจและการหายใจ หากหัวใจหยุดเต้นและหยุดหายใจให้นวดหัวใจและผายปอดโดยผู้ที่ผ่านการฝึก แต่ไม่ควรใช้วิธีเป่าปาก (mouth to mouth) แล้วนำส่งแพทย์ทันที

การปฐมพยาบาลเมื่อโดนความร้อน

แช่น้ำเย็นหรือปิดแผลด้วยผ้าชุบน้ำจนหายปวดแสบปวดร้อน แล้วทายาซีฟิ่งสำหรับไฟไหม้และน้ำร้อนลวก หากเกิดบาดแผลใหญ่ให้นำส่งแพทย์

กรณีที่สารเคมีเข้าปากให้ปฏิบัติตามคำแนะนำตามเอกสารความปลอดภัย
แล้วนำส่งแพทย์ทุกกรณี



แบบฝึกหัด 1.2

1. ให้นักเรียนระบุวิธีปฐมพยาบาลเบื้องต้นที่เหมาะสม เมื่อเกิดอุบัติเหตุต่อไปนี้ในห้องปฏิบัติการ
 - 1.1 สารละลายกรดกระเด็นถูกผิวหนัง
 - 1.2 สัมผัสกับเม็ดยาไฮดรอกไซด์
 - 1.3 ไอน้ำร้อนจากอ่างน้ำร้อนสัมผัสร่างกาย
 - 1.4 เศษแก้วจากหลอดทดลองที่แตกบาดมือ
 - 1.5 เมื่อใช้มือสัมผัสโต๊ะในห้องปฏิบัติการ แล้วเกิดอาการแสบร้อน

2. สืบค้นข้อมูล safety data sheet ของ 1-naphthyl methylcarbamate ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มคาร์บาเมต (carbaryl insecticide) ที่นำมาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 วิธีเก็บรักษา

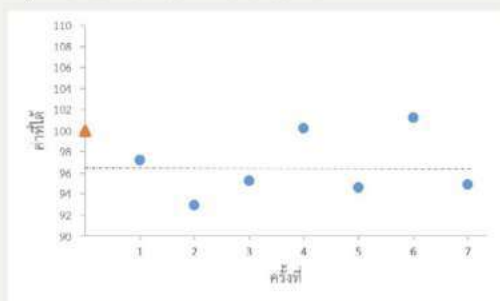
2.2 วิธีปฐมพยาบาล เมื่อสัมผัสผิวหนัง

1.3 การวัดปริมาณสาร

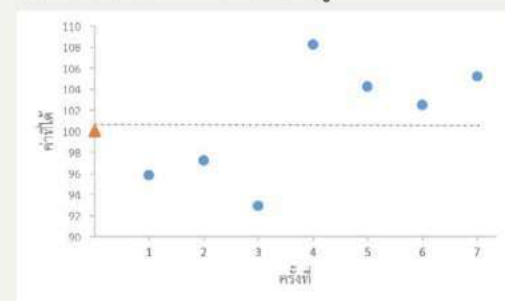
ในปฏิบัติการเคมีจำเป็นต้องมีการชั่ง ตวง และวัดปริมาณสาร ซึ่งการชั่ง ตวง วัด มีความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ หรือผู้ทำปฏิบัติการ ที่จะส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าจริง

ความน่าเชื่อถือของข้อมูล สามารถพิจารณาได้จาก 2 ส่วนด้วยกัน คือ **ความเที่ยง** (precision) และ **ความแม่นยำ** (accuracy) ของข้อมูล โดยความเที่ยง คือ ความใกล้เคียงกันของค่าที่ได้จากการวัดซ้ำ ส่วนความแม่นยำ คือ ความใกล้เคียงของค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำเทียบกับค่าจริง ดังแสดงในรูป 1.6

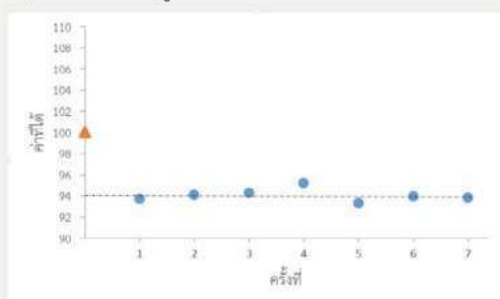
ก) ความเที่ยงและความแม่นยำต่ำ



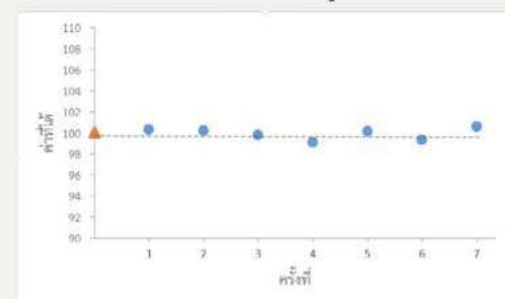
ข) ความเที่ยงต่ำ ความแม่นยำสูง



ค) ความเที่ยงสูง ความแม่นยำต่ำ



ง) ความเที่ยงและความแม่นยำสูง



▲ ค่าจริง ● ค่าที่ได้จากการวัด ----- ค่าเฉลี่ย

รูป 1.6 ความแตกต่างของความเที่ยงและความแม่นยำ

จากรูป 1.6 จะเห็นว่า ก) ข้อมูลมีการกระจายตัวมากและมีค่าเฉลี่ยที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าจริง ส่วน ข) ข้อมูลมีการกระจายตัวมากถึงแม้ว่าอาจให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าจริง ก็จัดเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือน้อย รวมทั้ง ค) ข้อมูลมีการกระจายตัวน้อยแต่มีค่าเฉลี่ยไม่ใกล้เคียงกับค่าจริง จึงยังถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือน้อยเช่นกัน สำหรับ ง) ข้อมูลมีการกระจายตัวน้อยและมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าจริง จึงเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

ความเที่ยงและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ที่ทำการวัดและความละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ อุปกรณ์การวัดที่ใช้โดยทั่วไปในปฏิบัติการเคมี ได้แก่ อุปกรณ์วัดปริมาตร และอุปกรณ์วัดมวล ซึ่งมีระดับความละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการใช้ที่แตกต่างกัน

การแบ่งกลุ่มอุปกรณ์วัดปริมาตร ได้แก่ ปีกเกอร์ ขวดรูปกรวย กระบอกตวง ปิเปตต์ บิวเรตต์ และขวดกำหนดปริมาตร โดยใช้ความแม่นยำเป็นเกณฑ์ จะสามารถแบ่งกลุ่มได้อย่างไร

1.3.1 อุปกรณ์วัดปริมาตร

อุปกรณ์วัดปริมาตรสารเคมีที่เป็นของเหลวที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีขีดและตัวเลขแสดงปริมาตรที่ได้รับการตรวจสอบมาตรฐานและกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ บางชนิดมีความคลาดเคลื่อนน้อย บางชนิดมีความคลาดเคลื่อนมาก ในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับปริมาตรและระดับความแม่นยำที่ต้องการ อุปกรณ์วัดปริมาตรบางชนิดที่นักเรียนได้ใช้งานในการทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมา เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปกรวย กระบอกตวง เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถบอกปริมาตรได้แม่นยำมากพอสำหรับการทดลองในบางปฏิบัติการ

ปีกเกอร์

ปีกเกอร์ (beaker) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปากกว้าง มีขีดบอกปริมาตรในระดับมิลลิลิตร มีหลายขนาด ดังรูป 1.7

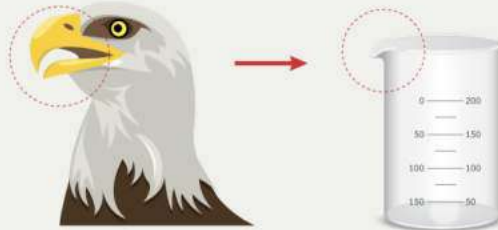


รูป 1.7 ปีกเกอร์



รู้หรือไม่

บีกเกอร์ มาจากคำว่า beak แปลว่า จะงอยปากนก เนื่องจากที่บริเวณขอบบีกเกอร์มีลักษณะคล้ายจะงอยปากของนก



ขวดรูปกรวย

ขวดรูปกรวย (erlenmeyer flask) มีลักษณะคล้ายผลขมพู่ มีขีดบอกปริมาตรในระดับมิลลิลิตร มีหลายขนาด ดังรูป 1.8



รูป 1.8 ขวดรูปกรวย

กระบอกตวง

กระบอกตวง (measuring cylinder) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีขีดบอกปริมาตรในระดับมิลลิลิตร มีหลายขนาด ดังรูป 1.9

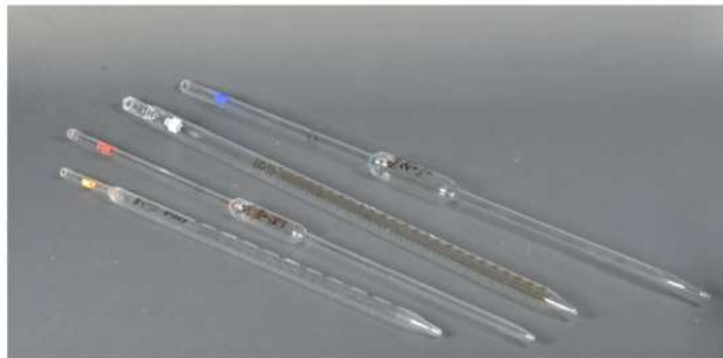


รูป 1.9 กระบอกตวง

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดปริมาตรของของเหลวได้แม่นยำมากกว่าอุปกรณ์ข้างต้น โดยมีทั้งที่เป็นการวัดปริมาตรของของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน และการวัดปริมาตรของของเหลวที่ถ่ายเท เช่น ปิเปตต์ บิวเรตต์ ขวดกำหนดปริมาตร

ปิเปตต์

ปิเปตต์ (pipette) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งใช้สำหรับถ่ายเทของเหลว ปิเปตต์ที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบปริมาตรซึ่งมีกระเปาะตรงกลาง มีขีดบอกปริมาตรเพียงค่าเดียว และแบบใช้ดวง มีขีดบอกปริมาตรหลายค่า ดังรูป 1.10 (ขั้นตอนการใช้งานปิเปตต์สามารถดูได้ที่ ภาคผนวก)



รูป 1.10 ปิเปตต์แบบต่าง ๆ



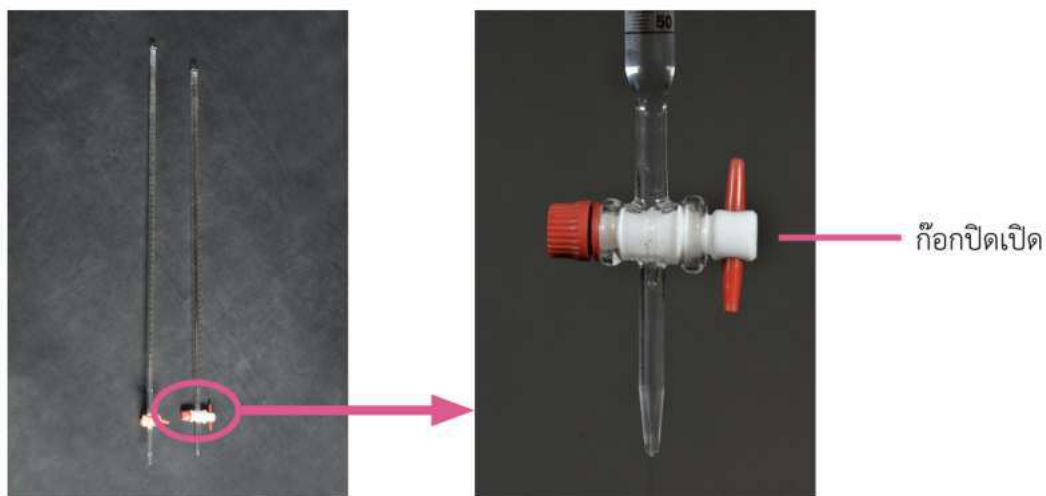
ตรวจสอบความเข้าใจ

ในห้องปฏิบัติการมีปิเปตต์แบบใช้ดวงขนาด 5 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร และมีปิเปตต์แบบปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร และ 25 มิลลิลิตร หากต้องการของเหลวปริมาตรต่อไปนี้ ต้องเลือกปิเปตต์แบบใดและขนาดปริมาตรใด

1. 2.50 มิลลิลิตร
2. 5.00 มิลลิลิตร
3. 25.00 มิลลิลิตร

บิวเรตต์

บิวเรตต์ (burette) เป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายเทของเหลวในปริมาตรต่าง ๆ ตามต้องการ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาวที่มีขีดบอกปริมาตร และมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของของเหลวที่เรียกว่า ก๊อกปิดเปิด (stop cock) ดังรูป 1.11 (ขั้นตอนการใช้งานบิวเรตต์สามารถดูได้ที่ภาคผนวก)



รูป 1.11 บิวเรตต์

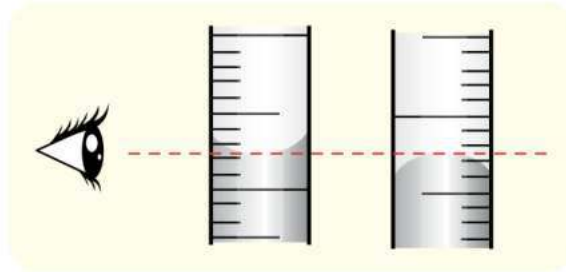
ขวดกำหนดปริมาตร

ขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาตรของของเหลวที่บรรจุภายใน ใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอน มีขีดบอกปริมาตรเพียงขีดเดียว มีจุกปิดสนิท ขวดกำหนดปริมาตรมีหลายขนาด ดังแสดงในรูป 1.12 (ขั้นตอนการใช้ขวดกำหนดปริมาตร สามารถดูได้ที่ภาคผนวก)



รูป 1.12 ขวดกำหนดปริมาตรขนาดต่าง ๆ

การใช้อุปกรณ์วัดปริมาตรเหล่านี้ให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือจะต้องมีการอ่านปริมาตรของของเหลวให้ถูกวิธี โดยต้องให้สายตาอยู่ระดับเดียวกันกับระดับส่วนโค้งของของเหลว โดยถ้าส่วนโค้งของของเหลวมีลักษณะเว้า ให้อ่านปริมาตรที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้งนั้น แต่ถ้าส่วนโค้งของของเหลวมีลักษณะนูน ให้อ่านปริมาตรที่จุดสูงสุดของส่วนโค้งนั้น แสดงดังรูป 1.13 การอ่านค่าปริมาตรของของเหลวให้อ่านตามขีดบอกปริมาตรและประมาณค่าทศนิยมตำแหน่งสุดท้าย



รูป 1.13 การอ่านปริมาตรของของเหลว



ตรวจสอบความเข้าใจ

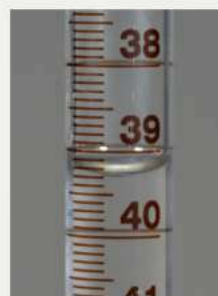
1. จากรูป ปริมาตรของของเหลวในกระบอกตวงมีค่าเท่าใด



2. ปริมาตรเริ่มต้นและปริมาตรสุดท้ายจากการถ่ายเทของเหลวด้วยปิเปตต์ เป็นดังรูป ของเหลวที่ถ่ายเทได้มีปริมาตรเท่าใด



ปริมาตรเริ่มต้น



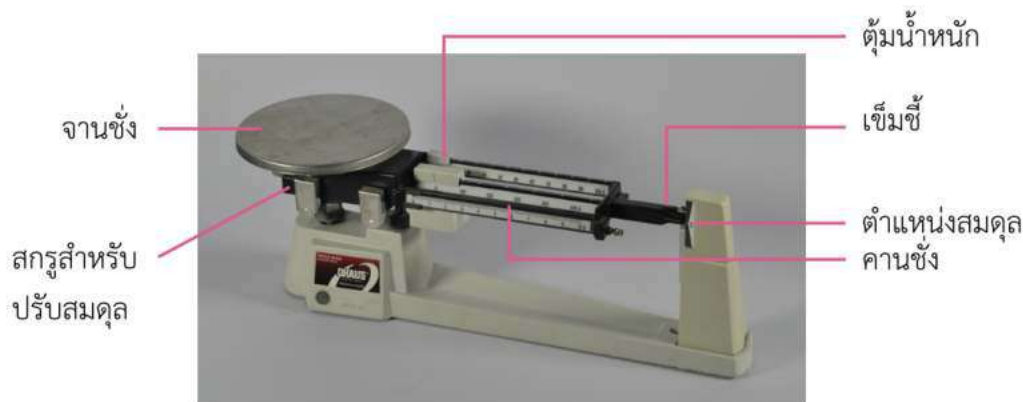
ปริมาตรสุดท้าย

อุปกรณ์วัดปริมาตรบางชนิด เช่น ปิเปตต์แบบปริมาตร ขวดกำหนดปริมาตร มีขีดบอกปริมาตรเพียงขีดเดียว อุปกรณ์ประเภทนี้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้ในการถ่ายเทหรือบรรจุของเหลวที่มีปริมาตรเพียงค่าเดียวตามที่ระบุบนอุปกรณ์ ดังนั้นผู้ใช้จึงจำเป็นต้องพยายามปรับระดับของเหลวให้ตรงกับขีดบอกปริมาตร

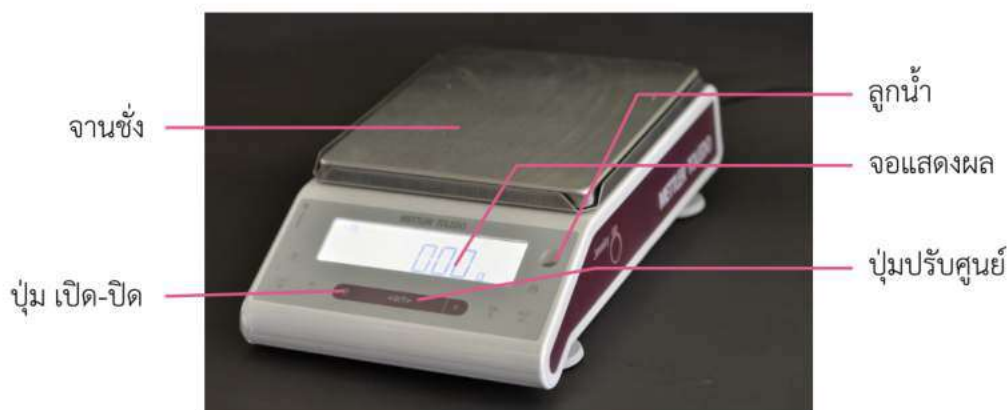
การบันทึกค่าปริมาตรให้บันทึกตามขนาดและความละเอียดของอุปกรณ์ เช่น ปิเปตต์มีความละเอียดของค่าปริมาตรถึงทศนิยมตำแหน่งที่สอง ดังนั้นปริมาตรของเหลวที่ได้จากการใช้ปิเปตต์ขนาด 10 มิลลิลิตร บันทึกค่าปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร

1.3.2 อุปกรณ์วัดมวล

เครื่องชั่ง เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดมวลของสารทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ความน่าเชื่อถือของค่ามวลที่วัดได้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องชั่งและวิธีการใช้เครื่องชั่ง เครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ เครื่องชั่งแบบสามคาน (triple beam) และเครื่องชั่งไฟฟ้า (electronic balance) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ดังรูป 1.14



ก. เครื่องชั่งแบบสามคาน



ข. เครื่องชั่งไฟฟ้า

รูป 1.14 ส่วนประกอบของเครื่องชั่งแบบสามคานและเครื่องชั่งไฟฟ้า

ปัจจุบันเครื่องชั่งไฟฟ้าได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้งานได้สะดวกและหาซื้อได้ง่าย ตัวเลขทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายซึ่งเป็นค่าประมาณของเครื่องชั่งแบบสามคานมาจากการประมาณของผู้ชั่ง ขณะที่ทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายของเครื่องชั่งไฟฟ้ามาจากการประมาณของอุปกรณ์ (ขั้นตอนการใช้งานเครื่องชั่งไฟฟ้า สามารถดูได้ที่ภาคผนวก)



กิจกรรม 1.1 การทดลองวัดปริมาตรโดยใช้อุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ และการวัดมวลโดยใช้เครื่องชั่ง

จุดประสงค์การทดลอง

1. ฝึกใช้เครื่องชั่งและเครื่องแก้ววัดปริมาตรบางชนิด
2. เปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรของกระบอกตวงและปิเปตต์

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. น้ำ
2. เทอร์มอมิเตอร์
3. ปีกเกอร์ขนาด 100 mL
4. ปีกเกอร์ขนาด 250 mL
5. ปิเปตต์ขนาด 25 mL
6. กระบอกตวงขนาด 25 mL
7. เครื่องชั่ง

วิธีทดลอง

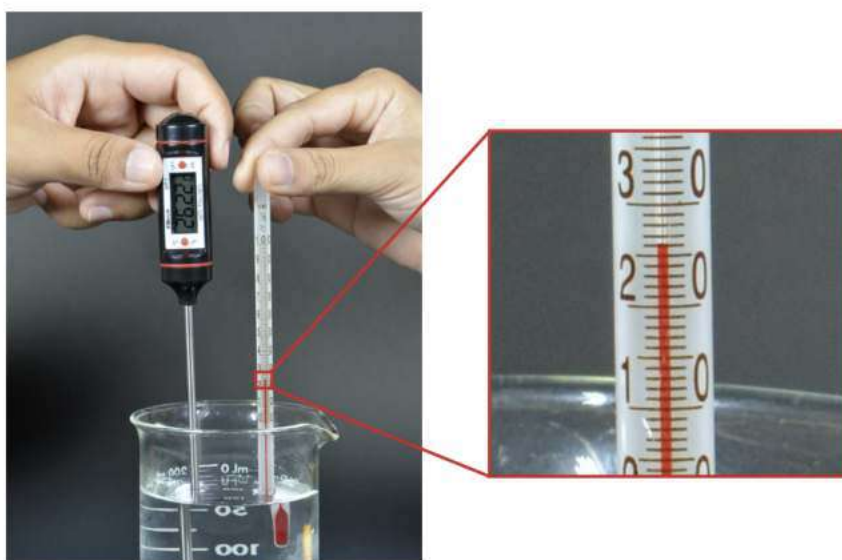
1. เทน้ำกลั่นปริมาตร 200 mL ลงในปีกเกอร์ขนาด 250 mL วัดอุณหภูมิของน้ำ บันทึกผล
2. ชั่งมวลของปีกเกอร์ขนาด 100 mL บันทึกผล
3. หามวลของน้ำ 25 mL 3 ครั้ง ดังนี้
ครั้งที่ 1 ปิเปตต์น้ำ 25 mL ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 mL ชั่งมวลรวมของน้ำและปีกเกอร์ บันทึกผล และคำนวณมวลของน้ำ 25 mL บันทึกผล
ครั้งที่ 2 ปิเปตต์น้ำ 25 mL ลงในปีกเกอร์เดิม ชั่งมวลรวมของน้ำ 50 mL และปีกเกอร์ บันทึกผล และคำนวณมวลของน้ำ 25 mL ที่เติมครั้งที่ 2 บันทึกผล
ครั้งที่ 3 ปิเปตต์น้ำ 25 mL ลงในปีกเกอร์เดิม ชั่งมวลรวมของน้ำ 75 mL และปีกเกอร์ บันทึกผล และคำนวณมวลของน้ำ 25 mL ที่เติมครั้งที่ 3 บันทึกผล

4. คำนวณค่ามวลเฉลี่ยของน้ำที่ได้จากการปิเปตต์ 3 ครั้ง บันทึกผล
5. นำค่ามวลเฉลี่ยของน้ำในข้อ 4 มาคำนวณปริมาตรของน้ำด้วยสูตร $d = \frac{m}{V}$
เมื่อ d เป็นความหนาแน่นของน้ำ (g/mL) m เป็นมวลของน้ำ (g) และ V เป็นปริมาตรของน้ำ (mL)
6. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1–5 โดยเปลี่ยนปิเปตต์เป็นกระบอกตวงขนาด 25 mL
7. นำค่าปริมาตรของน้ำที่คำนวณได้จากการใช้ปิเปตต์และกระบอกตวง มาเปรียบเทียบความแม่นยำของการวัดจากการใช้อุปกรณ์ต่างชนิดกัน

1.3.3 เลขนัยสำคัญ

ค่าที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์การวัดต่าง ๆ ประกอบด้วยตัวเลขและหน่วย โดยค่าตัวเลขที่วัดได้จากอุปกรณ์แต่ละชนิดอาจมีความละเอียดไม่เท่ากัน ซึ่งการบันทึกและรายงานค่าการอ่านต้องแสดงจำนวนหลักของตัวเลขที่สอดคล้องกับความละเอียดของอุปกรณ์

จากรูป 1.15 อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ทั้งสอง มีค่าเท่าใด



รูป 1.15 การวัดอุณหภูมิน้ำ

จากรูป 1.15 อุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิทัลด่านได้เท่ากับ 26.22 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์ตำแหน่งของของเหลวอยู่ที่ขีดบอกอุณหภูมิ 26 ซึ่งการบันทึกและรายงานค่าต้องมีการประมาณค่าในตำแหน่งสุดท้ายด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับความละเอียดของอุปกรณ์ ดังนั้นอาจบันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็น 26.0 องศาเซลเซียส โดยตัวเลขทุกตัวถือว่ามีความสำคัญและจำนวนหลักของตัวเลขทั้งหมด เรียกว่า **เลขนัยสำคัญ** (significant figure) ดังนั้นค่าที่ได้จากการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิทัสและเทอร์มอมิเตอร์มีเลขนัยสำคัญ 4 และ 3 ตัว ตามลำดับ

การนับเลขนัยสำคัญ

การนับเลขนัยสำคัญของข้อมูลมีหลักการ ดังนี้

1. ตัวเลขที่ไม่มีเลขศูนย์ทั้งหมดนับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

1.23 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

2. เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่น นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

6.02 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

72.05 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

3. เลขศูนย์ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่น ไม่ นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

0.25 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

0.025 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

4. เลขศูนย์ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นที่อยู่หลังทศนิยม นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

0.250 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

0.0250 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

5. เลขศูนย์ที่อยู่หลังเลขอื่นที่ไม่มีทศนิยม อาจนับหรือไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญก็ได้¹ เช่น

100 อาจมีเลขนัยสำคัญเป็น 1 2 หรือ 3 ตัวก็ได้

เนื่องจากเลขศูนย์ในบางกรณีอาจมีค่าเป็นศูนย์จริง ๆ จากการวัด หรือเป็นตัวเลขที่ใช้แสดงให้เห็นว่าค่าดังกล่าวอยู่ในหลักร้อย

6. ตัวเลขที่แม่นยำ (exact number) เป็นตัวเลขที่ทราบค่าแน่นอนมีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์ เช่น

ค่าคงที่ เช่น $\pi = 3.142...$ มีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์

ค่าจากการนับ เช่น ปีเปตต์ 3 ครั้ง เลข 3 ถือว่ามีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์

ค่าจากการเทียบหน่วย เช่น 1 วัน มี 24 ชั่วโมง ทั้งเลข 1 และ 24 ถือว่ามีเลขนัยสำคัญเป็นอนันต์

¹Chang, R. (2010). *Chemistry* (10th ed). New York: the McGraw-Hill.

7. ข้อมูลที่มีค่าน้อย ๆ หรือมาก ๆ ให้เขียนในรูปของสัญกรณ์วิทยาศาสตร์² โดยตัวเลขสัมประสิทธิ์ทุกตัวนับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

6.02×10^{23} มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

1.660×10^{-24} มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

ค่าตัวเลข 100 ในตัวอย่างข้อ 5 สามารถเขียนในรูปของสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ แล้วแสดงเลขนัยสำคัญได้อย่างชัดเจน เช่น

1×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

1.0×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

1.00×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

การนำค่าตัวเลขที่ได้จากการวัดมาคำนวณจะต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ โดยการคำนวณส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับตัวเลขที่ได้จากอุปกรณ์ที่แตกต่างกันทั้งหน่วยและความละเอียด ดังนั้นต้องมีการตัดตัวเลขในผลลัพธ์ด้วยการปัดเศษ ดังต่อไปนี้

การปัดตัวเลข

การปัดตัวเลข (rounding the number) พิจารณาจากตัวเลขที่อยู่ถัดจากตำแหน่งที่ต้องการดังนี้

1. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ตัดตัวเลขที่อยู่ถัดไปทั้งหมด เช่น

5.7432 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 5.7

ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ปัดเป็น 5.74

2. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่ามากกว่า 5 ให้เพิ่มค่าของตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการอีก 1 เช่น

3.7892 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 3.8

ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ปัดเป็น 3.79

3. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 5 และมีตัวเลขอื่นที่ไม่ใช่ 0 ต่อจากเลข 5 ให้เพิ่มค่าของตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการอีก 1 เช่น

2.1652 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ปัดเป็น 2.17

กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 5 และมี 0 ต่อจากเลข 5 ให้พิจารณาโดยใช้หลักการในข้อ 4

²สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ (scientific notation) คือ การเขียนตัวเลขในรูปของสัมประสิทธิ์ (A) คูณกับเลขยกกำลังฐานสิบ (10^n) มีรูปแบบเป็น $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกหรือลบ

4. กรณีที่ตัวเลขถัดจากตำแหน่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 5 และไม่มีเลขอื่นต่อจากเลข 5 ต้องพิจารณาตัวเลขที่อยู่หน้าเลข 5 ดังนี้

4.1 หากตัวเลขที่อยู่หน้าเลข 5 เป็นเลขคี่ให้ตัวเลขดังกล่าวบวกค่าเพิ่มอีก 1 แล้วตัดตัวเลขตั้งแต่เลข 5 ไปทั้งหมด เช่น 0.635 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 0.64

4.2 หากตัวเลขที่อยู่หน้าเลข 5 เป็นเลขคู่ให้ตัวเลขดังกล่าวเป็นตัวเลขเดิม แล้วตัดตัวเลขตั้งแต่เลข 5 ไปทั้งหมด เช่น 0.645 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ปัดเป็น 0.64

สำหรับการคำนวณหลายขั้นตอน การปัดตัวเลขของผลลัพธ์ให้ทำในขั้นตอนสุดท้ายของการคำนวณ

การบวกและการลบ

ในการบวกและลบ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนตัวเลขที่อยู่หลังจุดทศนิยมเท่ากับข้อมูลที่มีจำนวนตัวเลขที่อยู่หลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 1

$1.2 + 3.45 + 6.789$ มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $1.2 + 3.45 + 6.789 = 11.439$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 11.4 ซึ่งมีตัวเลขหลังจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตามจำนวนที่มีเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด คือ 1.2



ตัวอย่าง 2

$31.5 - 12.35 + 27.27$ มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $31.5 - 12.35 + 27.27 = 46.42$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 46.4 ซึ่งมีตัวเลขหลังจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตามจำนวนที่มีเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด คือ 31.5



ตรวจสอบความเข้าใจ

ชั่งมวลของสารได้ 76.98 และ 34.9 กรัม ตามลำดับ ผลรวมของมวลสารเป็นเท่าใด

การคูณและการหาร

ในการคูณและการหาร ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับข้อมูลที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 3

2.279×6.51 มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $2.279 \times 6.51 = 14.83629$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 14.8 ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ตามจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดคือ 6.51



ตัวอย่าง 4

$7.44 \times 4.3 \div 2.48$ มีผลลัพธ์เท่าใด

วิธีทำ $7.44 \times 4.3 \div 2.48 = 12.9$

ผลลัพธ์ที่ได้ต้องปัดเป็น 13 ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ตามจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดคือ 4.3



ตรวจสอบความเข้าใจ

ปรอทปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร จะมีมวลเท่าใด เมื่อปรอทมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.36 กรัมต่อมิลลิลิตร

การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับตัวเลขที่แม่นยำ

การคำนวณไม่ต้องพิจารณาเลขนัยสำคัญของตัวเลขที่แม่นยำ ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 5

ใช้น้ำปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้มวลเป็น 10.01 9.98 และ 10.02 กรัม มวลเฉลี่ยของน้ำเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{มวลเฉลี่ยของน้ำ} &= \frac{10.01 + 9.98 + 10.02}{3} \\ &= 10.0033\end{aligned}$$

ในขั้นแรกเป็นการหาผลรวม ผลลัพธ์ที่ได้จะมีตัวเลขหลังจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทำให้มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว เมื่อหารด้วย 3 ซึ่งเป็นตัวเลขที่แม่นยำที่ไม่นำมาพิจารณาเลขนัยสำคัญ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการหารต้องปัดเศษเป็น 10.00 กรัม ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

ดังนั้น มวลเฉลี่ยของน้ำ เท่ากับ 10.00 กรัม



ตรวจสอบความเข้าใจ

ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลที่ได้จากกิจกรรม 1.1 แล้วตอบคำถามต่อไปนี้

1. ปริมาตรของน้ำจากการปิเปตต์และการใช้กระบอกตวง ควรบันทึกด้วย เลขนัยสำคัญกี่ตัว
2. มวลของน้ำที่ชั่งด้วยเครื่องชั่ง ควรบันทึกด้วยเลขนัยสำคัญกี่ตัว
3. ความหนาแน่นของน้ำที่คำนวณได้ ควรบันทึกด้วยเลขนัยสำคัญกี่ตัว
4. การบันทึกผลและการคำนวณของนักเรียน สอดคล้องกับหลักการเกี่ยวกับเลขนัยสำคัญ หรือไม่ หากไม่สอดคล้องให้แก้ไขให้ถูกต้อง

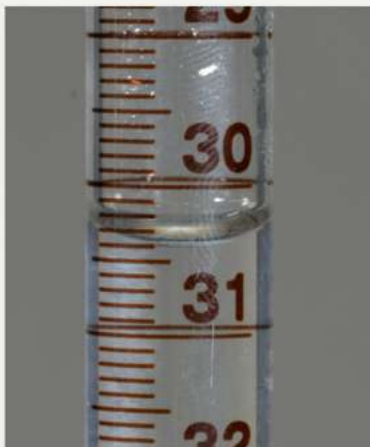


แบบฝึกหัด 1.3

1. อ่านปริมาตรของของเหลว จากรูปต่อไปนี้



2. อ่านค่าปริมาตรของของเหลวในบิวเรตต์ที่มีปริมาตรเท่ากันในมุมมองที่แตกต่างกันได้เท่าใด และค่าที่อ่านได้ในแต่ละข้อถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด



3. วิธีการในแต่ละข้อต่อไปนี้ สามารถวัดปริมาตรน้ำที่ต้องการได้แม่นยำหรือไม่ เพราะเหตุใด

3.1 ตวงน้ำโดยใช้กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ครั้งละ 100.00 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และ 50.00 มิลลิลิตร 1 ครั้ง จะได้น้ำปริมาตร 250.00 มิลลิลิตร

3.2 ไขน้ำจากบิวเรตต์ที่บรรจุน้ำเริ่มต้นที่ขีดบอกปริมาตรเลข 0 มาถึงขีดบอกปริมาตร เลข 20 จะได้น้ำปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร

3.3 เติมน้ำลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับให้พอดีกับขีดบอกปริมาตร เมื่อเทน้ำออกใส่ปิเปตอร์จะได้น้ำปริมาตร 100.00 มิลลิลิตรพอดี

1.4 หน่วยวัด

การระบุหน่วยของการวัดปริมาณต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นความยาว มวล อุณหภูมิ อาจแตกต่างกันในแต่ละประเทศ เช่น การระบุน้ำหนักเป็นกิโลกรัม ปอนด์ หรือ การระบุส่วนสูงเป็น เซนติเมตร ฟุต ซึ่งทำให้ไม่สะดวกในการเปรียบเทียบหรือสื่อสารให้เข้าใจตรงกัน และในบางกรณี อาจนำไปสู่ความเข้าใจผิดที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลจากการวัดเป็นที่เข้าใจตรงกัน จึงมีการตกลงร่วมกันให้มีหน่วยมาตรฐานสากลขึ้น

1.4.1 หน่วยในระบบเอสไอ

ในปี พ.ศ. 2503 ที่ประชุมนานาชาติว่าด้วยการชั่งและการวัด (The General conference on Weights and Measures) ได้ตกลงให้มีหน่วยวัดสากลขึ้น เรียกว่า ระบบหน่วยวัด ระหว่างประเทศ หรือเรียกย่อ ๆ ว่า **หน่วยเอสไอ** (SI units) ซึ่งเป็นหน่วยที่ดัดแปลงจาก หน่วยในระบบเมตริกซ์ โดยหน่วยเอสไอแบ่งเป็นหน่วยพื้นฐาน (SI base units) มี 7 หน่วย แสดงดังตาราง 1.1 ซึ่งเป็นหน่วยที่ไม่ขึ้นต่อกัน และสามารถนำไปใช้ในการกำหนดหน่วยอื่น ๆ ได้และหน่วยเอสไออนุพัทธ์ (Derived SI units) ซึ่งเป็นหน่วยอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันทางคณิตศาสตร์ของหน่วยเอสไอพื้นฐาน ตัวอย่างแสดงดังตาราง 1.2



รู้หรือไม่

SI units เป็นคำย่อจากภาษาฝรั่งเศส คำว่า *Système international d'unités*

ตาราง 1.1 หน่วยเอสไอพื้นฐาน

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย
มวล	กิโลกรัม (kilogram)	kg
ความยาว	เมตร (meter)	m
เวลา	วินาที (second)	s
อุณหภูมิ	เคลวิน (kelvin)	K
ปริมาณของสาร	โมล (mole)	mol
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (ampere)	A
ความเข้มแห่งการส่องสว่าง	แคนเดลลา (candela)	cd

ตาราง 1.2 ตัวอย่างหน่วยเอสไออนุพัทธ์

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร (cubic meter)	m^3
ความเข้มข้น	โมลต่อลูกบาศก์เมตร (mol per cubic meter)	mol/m^3
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kilogram per cubic meter)	kg/m^3

หน่วยนอกระบบเอสไอ นอกจากหน่วยในระบบเอสไอแล้ว ในทางเคมียังมีหน่วยอื่นที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างดังตาราง 1.3

ตาราง 1.3 ตัวอย่างหน่วยนอกระบบเอสไอที่ใช้ในทางเคมี

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย	ค่าที่เทียบกับหน่วยเอสไอ
ปริมาตร	ลิตร (liter)	L หรือ l	$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$
มวล	กรัม (gram)	g	$1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$
	ดอลตัน (dalton)	Da	$1 \text{ Da} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
	หน่วยมวลอะตอม (unified atomic mass unit)	u	$1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ความดัน	บาร์ (bar)	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
	มิลลิเมตรปรอท (millimeter of mercury)	mmHg	$1 \text{ mmHg} = 133.32 \text{ Pa}$
	บรรยากาศ (atmospheric pressure)	atm	$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ($1 \text{ atm} \sim 1 \text{ bar}$)
ความยาว	อังสตรอม (ångström)	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$
พลังงาน	แคลอรี (calorie)	cal	$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส (degree celsius)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$



ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ลวดแมกนีเซียมหนา 0.1 มิลลิเมตร สามารถเขียนแสดงความหนาให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ในหน่วยเอสไอได้เป็นเท่าใด
2. ปริมาณน้ำที่ได้จากปิเปตต์ 10.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถเขียนแสดงปริมาตรให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ในหน่วยเอสไอได้เป็นเท่าใด

ในทางวิทยาศาสตร์การคำนวณเกี่ยวกับปริมาณต่าง ๆ อาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วยที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้ค่าของปริมาณเปลี่ยนแปลง เช่น ในทางเคมีนิยมระบุพลังงานในหน่วยแคลอรี ในขณะที่หน่วยเอสไอของพลังงานคือจูล ดังนั้น นักเคมีจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนหน่วยพลังงานระหว่างแคลอรีและจูลเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน การเปลี่ยนหน่วยทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะใช้วิธีการเทียบหน่วย ซึ่งต้องใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

1.4.2 แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย (conversion factors) เป็นอัตราส่วนระหว่างหน่วยที่แตกต่างกัน 2 หน่วยที่มีปริมาณเท่ากัน ตัวอย่างการหาแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยเป็นดังนี้

จากความสัมพันธ์พลังงาน $1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$

เมื่อใช้ 1 cal หารทั้งสองข้างจะได้เป็น

$$\frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cal}} = \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$$

$$1 = \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$$

หรือถ้าใช้ 4.2 J หารทั้งสองข้างจะได้เป็น

$$\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}} = \frac{4.2 \text{ J}}{4.2 \text{ J}}$$

$$\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}} = 1$$

ดังนั้น แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยเขียนได้เป็น $\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}}$ หรือ $\frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$

ในทางคณิตศาสตร์เมื่อคูณปริมาณด้วย “1” จะทำให้ค่าของปริมาณเดิมไม่เปลี่ยนแปลง และแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย $\frac{1 \text{ cal}}{4.2 \text{ J}}$ และ $\frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$ ก็มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงสามารถนำแต่ละแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยไปใช้ในการเปลี่ยนหน่วยของปริมาณที่วัดจากหน่วยหนึ่งไปเป็นหน่วยอื่นโดยปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับตัวอย่างแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยนี้ ใช้เปลี่ยนหน่วยจูลให้เป็นแคลอรีหรือแคลอรีให้เป็นจูล ตามลำดับ เช่น พลังงาน 20 cal สามารถเปลี่ยนเป็นหน่วยจูลได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{พลังงาน} &= 20 \text{ cal} \times \frac{4.2 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \\ &= 84 \text{ J}\end{aligned}$$

วิธีการเทียบหน่วย

วิธีการเทียบหน่วย (factor label method) ทำได้โดยการคูณปริมาณในหน่วยเริ่มต้นด้วยแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่มีหน่วยที่ต้องการอยู่ด้านบน ตามสมการ

$$\text{ปริมาณและหน่วยที่ต้องการ} = \text{ปริมาณและหน่วยเริ่มต้น} \times \frac{\text{หน่วยที่ต้องการ}}{\text{หน่วยเริ่มต้น}}$$



ตัวอย่าง 6

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมวล 20 กรัม ความหนาแน่น 1.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก} &= 20 \text{ g solution} \times \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ solution}}{1.18 \text{ g solution}} \\ &= 16.95 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

คำตอบต้องมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ดังนั้น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาตร 17 ลูกบาศก์เซนติเมตร



แบบฝึกหัด 1.4

1. จงแสดงวิธีการเปลี่ยนหน่วยไปเป็นหน่วยใหม่ที่ต้องการในแต่ละข้อต่อไปนี้

ข้อที่	ปริมาณและหน่วยเริ่มต้น	หน่วยใหม่ที่ต้องการ
1.1	59.2 cm	dm
1.2	1.8 kg	mg
1.3	2,800 mL	dm ³
1.4	3.2 g/mL	kg/dm ³

- น้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 50.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 20.5 องศาเซลเซียสมีมวลเท่าใด เมื่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 20.5 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.998099 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 24 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.2 กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าสารละลายกรดซัลฟิวริก 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีกรดซัลฟิวริกกี่กรัม
- ถ้าทองเหลือง 12 กรัม ต้องใช้ทองแดง 9.0 กรัม มีต้นทุนราคาของทองแดงกิโลกรัมละ 200 บาท หากต้องการทองเหลือง 300 กรัม ต้องซื้อทองแดงกี่บาท

1.5 วิธีการทางวิทยาศาสตร์

การทำปฏิบัติการเคมีนอกจากต้องมีการวางแผนการทดลอง การทำการทดลอง การบันทึกข้อมูล การสรุปและวิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการเขียนรายงานการทดลองที่ถูกต้อง แล้วต้องคำนึงถึงวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์

วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) เป็นกระบวนการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีแบบแผนขั้นตอน โดยภาพรวมสามารถทำได้ดังนี้

1. การสังเกต เป็นจุดเริ่มต้นของการได้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษา โดยอาศัยประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ การมองเห็น การฟังเสียง การได้กลิ่น การรับรส และการสัมผัส จากข้อมูลดังกล่าวจะนำไปสู่ข้อสงสัยหรือตั้งเป็นคำถามที่ต้องการคำตอบ ดังนั้นการสังเกตจึงเป็นทักษะที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ของผู้เรียน

2. การตั้งสมมติฐาน เป็นการคาดคะเนคำตอบของคำถามหรือปัญหา โดยมีพื้นฐานจากการสังเกต ความรู้ หรือประสบการณ์เดิม โดยทั่วไปสมมติฐานจะเขียนในรูปของข้อความที่แสดงเหตุและผลที่เกิดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม
3. การตรวจสอบสมมติฐาน เป็นกระบวนการหาคำตอบของสมมติฐาน โดยมีการออกแบบการทดลองให้มีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง รวมถึงขั้นตอนการทดลองที่ชัดเจน
4. การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การตรวจสอบสมมติฐาน มารวบรวม วิเคราะห์ และอธิบายข้อเท็จจริง
5. การสรุปผล เป็นการสรุปความรู้หรือข้อเท็จจริงที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐาน และมีการเปรียบเทียบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ก่อนหน้านี้

ทั้งนี้ ในการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นไม่มีรูปแบบที่ตายตัว โดยอาจมีรายละเอียดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคำถาม บริบท หรือวิธีการที่ใช้ในการสำรวจตรวจสอบ

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นต่าง ๆ ที่ผ่านมานั้นมีการทดลองและกิจกรรม ที่ส่งเสริมให้ได้ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ศึกษาหาความรู้ นักเรียนลองพิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ว่าเกี่ยวข้องกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์อย่างไร



ตรวจสอบความเข้าใจ

นักเรียนคนหนึ่งต้มน้ำอัดลมแล้วพบว่าน้ำอัดลมที่แช่เย็นมีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น จึงเกิดความสงสัยว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

จากการที่นักเรียนสังเกตว่า เมื่อต้มน้ำอัดลมที่แช่เย็นแล้วรู้สึกซ่ามีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น นักเรียนคิดว่า ความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิกที่อยู่ในน้ำอัดลมเป็นสาเหตุให้น้ำอัดลมมีความซ่า จึงตั้งสมมติฐานว่า "น้ำอัดลมที่แช่เย็นจะมีความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิก มากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น" จึงวางแผนการทดลองโดยการวัดค่า pH ของน้ำอัดลมที่เพิ่งเปิดขวดทั้งที่แช่เย็นและไม่แช่เย็น เมื่อนักเรียนทำการทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้พบว่า น้ำอัดลมที่แช่เย็นมีค่า pH เท่ากับ 2 และน้ำอัดลมที่อุณหภูมิห้องมีค่า pH เท่ากับ 3 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ นักเรียนจึงสรุปผลการทดลองว่า น้ำอัดลมที่แช่เย็นมีความเข้มข้นของกรดคาร์บอนิกมากกว่าจึงมีความซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น

จากตัวอย่างสถานการณ์ข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ อย่างไร

2. การสรุปผลการทดลองสอดคล้องกับข้อเท็จจริงที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐานหรือไม่ อย่างไร

3. สมมติฐานที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับสิ่งที่สังเกตได้ว่า น้ำอัดลมที่แช่เย็นมีความซ่ามากกว่า น้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น หรือไม่ อย่างไร

4. ถ้านักเรียนต้องการออกแบบการทดลองเพื่อตอบคำถามว่า เพราะเหตุใด เมื่อเติมน้ำอัดลมที่แช่เย็นจึงรู้สึกซ่ามากกว่าน้ำอัดลมที่ไม่แช่เย็น นักเรียนคิดว่าควรมีข้อมูลใดเพิ่มเติมบ้าง

นอกจากวิธีการทางวิทยาศาสตร์แล้ว การเขียนรายงานการทดลองเป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน เพราะนอกจากจะช่วยให้ผู้ทำการทดลองมีข้อมูลไว้อ้างอิงแล้ว รายงานยังเป็นเครื่องมือสื่อสารที่ผู้อื่นสามารถนำไปศึกษาและปฏิบัติตามได้ โดยหัวข้อที่ควรมีในรายงานการทดลองมีดังนี้

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. ชื่อการทดลอง | 5. วิธีการทดลอง |
| 2. จุดประสงค์ | 6. ผลการทดลอง |
| 3. สมมติฐานและการกำหนดตัวแปร | 7. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง |
| 4. อุปกรณ์และสารเคมี | |

นักเรียนสามารถฝึกการออกแบบการทดลองและเขียนรายงานการทดลอง ได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 1.2 การออกแบบและทดลองเปรียบเทียบความแน่นในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน

จุดประสงค์การทดลอง

1. ออกแบบและทดลองเปรียบเทียบความแน่นในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน
2. นำเสนอการออกแบบการทดลองและเขียนรายงานการทดลอง

วิธีทดลอง

1. ออกแบบและนำเสนอการออกแบบการทดลอง เปรียบเทียบความแน่นในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน

2. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน
3. เขียนรายงานการทดลอง

การศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต้องอาศัย**ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์** (scientific process skill) และ**จิตวิทยาศาสตร์** (scientific mind) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นความสามารถและความชำนาญในการคิดเพื่อค้นหาความรู้และแก้ไขปัญหา โดยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 14 ทักษะ คือ การสังเกต การวัด การลงความเห็นจากข้อมูล การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ของสเปกกับเวลา การใช้จำนวน การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และการสร้างแบบจำลอง

จิตวิทยาศาสตร์ เป็นความรู้สึกรักคิด พฤติกรรมหรือลักษณะนิสัย ที่เป็นผลมาจากประสบการณ์และการเรียนรู้ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความคิด การตัดสินใจ หรือพฤติกรรมของบุคคลต่อความรู้หรือสิ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เช่น ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง ความซื่อสัตย์ ความมุ่งมั่นอดทน ความรอบคอบ การเห็นความสำคัญและคุณค่าของวิทยาศาสตร์

การที่นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าของการเรียนวิทยาศาสตร์ ย่อมจะทำให้มีความฝึกฝนในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และมีการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องเหมาะสม



ตรวจสอบความเข้าใจ

จากการทำกิจกรรมออกแบบและทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงที่มีขนาดต่างกัน นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ใดบ้าง

การศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้น นอกจากการเรียนรู้อย่างเป็นระบบตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์แล้วนั้น ผู้เรียนยังต้องคำนึงถึงจริยธรรมซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้องการในการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่มีต่อตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างจริยธรรมทางวิทยาศาสตร์ เช่น ความซื่อสัตย์ในการรายงานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลอย่างอิสระบนพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่ โดยไม่ให้ข้อมูลจากแหล่งภายนอกมีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์และการตีความ การอ้างอิงแหล่งของข้อมูลต่าง ๆ อย่างเหมาะสม ความรับผิดชอบต่อสังคมหรือสภาพแวดล้อม

ความรู้และทักษะปฏิบัติการต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาในบทเรียนนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้วิชาเคมีบทอื่น ๆ ต่อไป



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การทำปฏิบัติการให้ปลอดภัย ผู้ทำปฏิบัติการต้องทราบเกี่ยวกับประเภทของสารเคมีที่ใช้ วิธีปฏิบัติการทดลอง ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมีและการกำจัดสารเคมี รวมถึงต้องมีความรู้และสามารถปฐมพยาบาลเบื้องต้นเพื่อลดความรุนแรงและความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

ความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากการทำปฏิบัติการเคมี พิจารณาได้จากความเที่ยงและความแม่นยำ ซึ่งขึ้นกับทักษะของผู้ทำปฏิบัติการในการวัดปริมาณสารและความละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ การบอกปริมาณของสารอาจจะอยู่ในหน่วยต่าง ๆ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันจึงมีการกำหนดหน่วยในระบบเอสไอให้เป็นหน่วยสากลโดยการเปลี่ยนหน่วยเพื่อให้เป็นหน่วยสากลสามารถทำได้ด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

การทำปฏิบัติการเคมีต้องมีการวางแผนการทดลอง การทำการทดลอง การบันทึกข้อมูล สรุปและวิเคราะห์ นำเสนอข้อมูล และการเขียนรายงานการทดลองที่ถูกต้อง โดยการทำปฏิบัติการเคมีต้องคำนึงถึงวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ และจริยธรรมทางวิทยาศาสตร์



แบบฝึกหัดท้ายบท

1. แปลความหมายของสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตราย ในระบบ GHS ต่อไปนี้ และถ้านักเรียนต้องใช้สารเคมีเหล่านี้ในการทำปฏิบัติการจะต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติมได้นอกจากเสื้อคลุมปฏิบัติการ

ข้อที่	สัญลักษณ์	การแปลความหมายของสัญลักษณ์	อุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติม
1.1			
1.2			
1.3			
1.4			
1.5			
1.6			

2. เติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเติมเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

- 2.1 สามารถใช้แว่นสายตาทดแทนแว่นนิรภัยในการทำปฏิบัติการเคมีได้
- 2.2 ควรถอดรองเท้าก่อนเข้าห้องปฏิบัติการเคมีเสมอ
- 2.3 การทดสอบปฏิกิริยาเคมีในหลอดทดลองไม่ควรหันปากหลอดทดลองไปทางที่มีคน
- 2.4 เมื่อสัมผัสปิกเกอร์หรือภาชนะที่ร้อน ควรใช้ยาสีฟันทาบริเวณที่สัมผัสของร้อน
- 2.5 หลังทำการทดลอง ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ และโต๊ะให้สะอาดก่อนออกจากห้องปฏิบัติการเคมี
- 2.6 ถ้าทำสารเคมีหกบนเครื่องชั่ง ควรทำความสะอาดทันทีโดยไม่จำเป็นต้องปิดเครื่องชั่ง
- 2.7 การวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล เป็นวิธีหนึ่งในการนำเสนอข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล
- 2.8 ควรสวมเสื้อคลุมปฏิบัติการทุกครั้งที่ทำกรทดลอง เพื่อป้องกันสารเคมีหกรดถูกร่างกาย
- 2.9 เอกสารความปลอดภัยเป็นเอกสารที่บอกสมบัติ อันตราย และการปฐมพยาบาลของสารเคมีแต่ละชนิด
- 2.10 การห้ามรับประทานอาหารและเครื่องดื่มในห้องปฏิบัติการเคมี เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุจากการกลืนกินสารเคมี

3. จากรูป ให้นักเรียนระบุว่า บุคคลใดบ้างที่ปฏิบัติไม่ถูกต้องหลักความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ พร้อมระบุว่าบุคคลนั้นปฏิบัติตัวไม่ถูกต้องในเรื่องใด



4. เติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

- 4.1 ข้างขวदनน้ำดื่มยี่ห้อหนึ่ง ระบุว่าปริมาตรน้ำภายในขวดเท่ากับ 0.6 ลิตร หมายความว่า น้ำดื่มในขวดนั้นมีน้ำปริมาตร 600 มิลลิลิตร
- 4.2 ใช้ปิเปตต์แบบปริมาตรขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิเปตต์สารละลาย A ถ่ายลงในบีกเกอร์ สารละลาย A ในบีกเกอร์มีปริมาตรเท่ากับ 10.00 มิลลิลิตร
- 4.3 สารละลาย B ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร หมายความว่า เมื่อเทสารละลาย B ออกมาใส่บีกเกอร์สามารถวัดปริมาตรได้เท่ากับ 250 มิลลิลิตร

..... 4.4 ในการไขสารละลายออกจากบิวเรตต์ จะอ่านเลขทศนิยมของปริมาตรของสารละลายได้ 2 ตำแหน่งเสมอ

..... 4.5 เมื่อตวงสารละลาย C โดยใช้กระบอกตวงให้มีปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร แล้วเทใส่ในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จะสามารถอ่านปริมาตรของสารละลาย C ได้เท่ากับ 100.00 มิลลิลิตร

5. ถ้าใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด ตวงน้ำปริมาตร 15.00 มิลลิลิตร แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่ง โดยแต่ละอุปกรณ์ ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ได้ข้อมูลการทดลองดังต่อไปนี้

ครั้งที่	มวลน้ำที่ชั่งได้ (g)		
	อุปกรณ์ A	อุปกรณ์ B	อุปกรณ์ C
1	15.12	14.88	15.02
2	15.09	14.93	14.86
3	14.98	14.92	15.37
4	14.95	15.12	15.20
5	15.02	14.81	15.41

หมายเหตุ ทำการตวงน้ำที่อุณหภูมิ 30.0 องศาเซลเซียส น้ำมีความหนาแน่น 0.995646 กรัมต่อมิลลิลิตร

ให้นักเรียนเขียนกราฟความสัมพันธ์โดยแกน x เป็นครั้งที่ชั่ง และแกน y เป็นมวลน้ำที่ชั่งได้ (g) และตอบคำถามต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์ใดมีความเที่ยงมากที่สุด

5.2 อุปกรณ์ใดมีความแม่นยำมากที่สุด

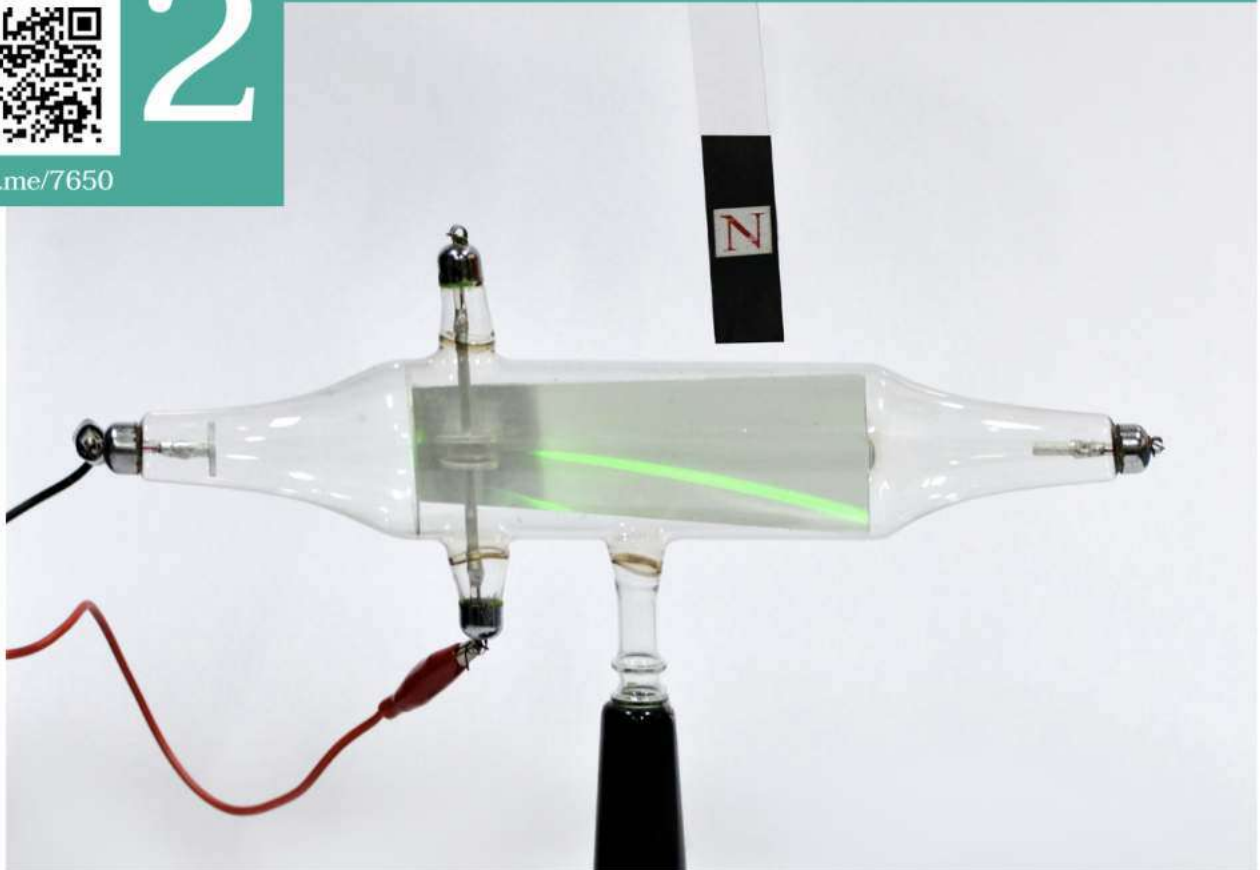
5.3 ถ้าต้องใช้อุปกรณ์ในการทำทดลอง เพื่อให้ได้ความถูกต้องมากที่สุด ควรเลือกอุปกรณ์ใด พร้อมทั้งให้เหตุผล



ipst.me/7650

2

| อะตอมและสมบัติของธาตุ



การศึกษาโครงสร้างอะตอมผ่านหลอดรังสีแคโทด



คำถามสำคัญ

1. นักวิทยาศาสตร์มีวิธีการศึกษาโครงสร้างอะตอมซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างไร
2. ตารางธาตุมีวิวัฒนาการอย่างไร และการจัดธาตุเป็นกลุ่มมีประโยชน์อย่างไร
3. ธาตุแต่ละชนิดในตารางธาตุมีสมบัติเป็นอย่างไร และนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความหมายของแบบจำลองอะตอม พร้อมทั้งบอกสาเหตุที่ทำให้แบบจำลองอะตอมมีการเปลี่ยนแปลง
2. อธิบายแบบจำลองอะตอมของดอลตัน ทอมสัน รัทเทอร์ฟอร์ด โบร์ และแบบกลุ่มหมอก
3. เขียนและแปลความหมายสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ
4. อธิบายความหมายและยกตัวอย่างไอโซโทปของธาตุ
5. บอกความแตกต่างของระดับพลังงานหลัก พลังงานย่อย และออร์บิทัล
6. จัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอมเมื่อทราบเลขอะตอมของธาตุ พร้อมทั้งระบุ หมู่ คาบ และกลุ่มของธาตุในตารางธาตุ
7. บอกแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ในยุคต่าง ๆ เกี่ยวกับการจัดธาตุเป็นหมวดหมู่จนได้เป็นตารางธาตุ พร้อมทั้งระบุปัญหาของการจัดกลุ่มธาตุ
8. จำแนกธาตุเป็นกลุ่มโลหะ อโลหะ และกึ่งโลหะ หรือเป็นกลุ่มธาตุเรฟรีเซนเททีฟหรือธาตุหมู่หลัก และธาตุแทรนซิชัน หรือตามการจัดเรียงอิเล็กตรอน เมื่อทราบเลขอะตอม
9. วิเคราะห์และสรุปแนวโน้มสมบัติต่าง ๆ ของธาตุตามหมู่และคาบเกี่ยวกับขนาดอะตอม รัศมีไอออน พลังงานไอออไนเซชัน อิเล็กโตรเนกาติวิตี สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ
10. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของโลหะเรฟรีเซนเททีฟหรือโลหะหมู่หลัก และโลหะแทรนซิชัน
11. อธิบายสมบัติของไอโซโทปกัมมันตรังสี รังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมา
12. คำนวณครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสี
13. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำธาตุมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

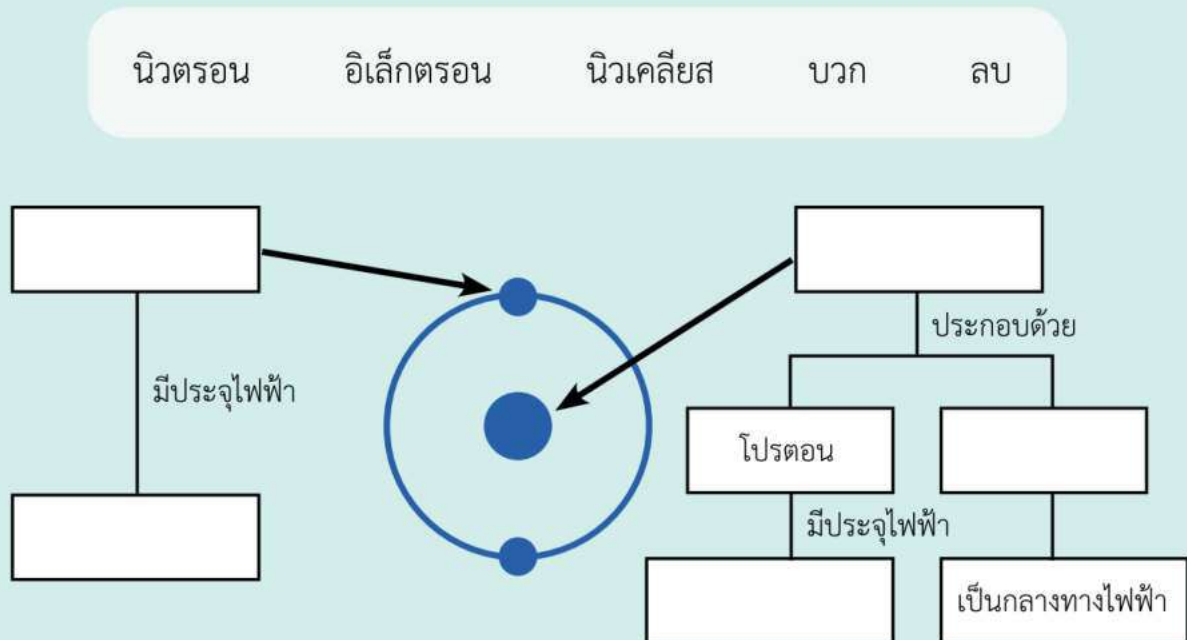


ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. สารที่กำหนดให้ต่อไปนี้ ธาตุหรือสารประกอบ

ลำดับ	สาร	ธาตุ	สารประกอบ
1	Ca	✓	
2	H ₂ O		✓
3	He		
4	Fe		
5	H ₂		
6	O ₃		
7	NaCl		
8	C ₆ H ₁₂ O ₆		
9	โซดาไฟ		
10	โครเมียม		

2. แบบจำลองอะตอมของนักวิทยาศาสตร์ในยุคหนึ่งเป็นดังรูป จงนำคำที่กำหนดให้ เติมลงในช่องว่างให้ถูกต้อง



3. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และทำเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

- 3.1 ธาตุเป็นสารผสม พบได้ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส
- 3.2 โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน เป็นอนุภาคที่พบในอะตอมของธาตุ
- 3.3 อิเล็กตรอนมีประจุบวก
- 3.4 ธาตุบางชนิดสามารถแผ่รังสีได้
- 3.5 ทองแดงเป็นโลหะที่สามารถนำไฟฟ้าได้และนิยมนำมาทำสายไฟฟ้า

แนวคิดที่ว่า สิ่งต่าง ๆ ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ได้เริ่มขึ้นในสมัยกรีกโบราณ โดยดีโมคริตัส (Democritus) ซึ่งเป็นนักปราชญ์ชาวกรีกผู้หนึ่งที่ได้เสนอแนวคิดว่า ถ้าแบ่งสิ่งต่าง ๆ ให้มีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ จะได้หน่วยย่อยซึ่งไม่สามารถแบ่งให้เล็กลงไปอีกและเรียกหน่วยย่อยนี้ว่า **อะตอม** (atom) ซึ่งมาจากคำในภาษากรีกว่า atomos แปลว่า “แบ่งแยกอีกไม่ได้” นักวิทยาศาสตร์มีวิธีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างไรจะได้ศึกษาต่อไป

2.1 แบบจำลองอะตอม

อะตอมมีขนาดเล็กมากและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า กระบวนการได้มาซึ่งแบบจำลองของนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับการทดลองใดบ้างศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 2.1 ครอบป้องกัน

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายสิ่งที่มองไม่เห็น
2. อธิบายสาเหตุที่ทำให้องค์ความรู้หรือแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกิดการเปลี่ยนแปลง

วัสดุและอุปกรณ์

1. ครอบป้องกัน
2. กระดาษ A4



วิธีทำกิจกรรม

ขณะทำกิจกรรมห้ามแกะหรือส่องดูสิ่งที่อยู่ในครอบ

1. สังเกตครอบป้องกันด้วยตาเปล่า อาจจับและเขย่าครอบได้แต่ห้ามดึงเชือก อภิปรายกับเพื่อนในกลุ่ม สรุปและวาดรูปแบบจำลองสิ่งที่อยู่ข้างในครอบ พร้อมข้อสรุป

2. ดึงเชือกหนึ่งเส้น เบา ๆ ระวังอย่าให้เชือกขาด อภิปรายกับเพื่อนในกลุ่ม และวาดรูปแบบจำลองสิ่งที่อยู่ข้างในกระป๋อง พร้อมข้อสรุป ทำซ้ำจนครบ 4 เส้น
3. ดึงเส้นเชือกพร้อมกันทีละ 2 เส้น และวาดรูปแบบจำลองสิ่งที่อยู่ข้างในกระป๋อง
4. แต่ละกลุ่มนำเสนอสรุปวาดแบบจำลอง พร้อมอภิปรายเหตุผลประกอบ

คำถามท้ายกิจกรรม

1. กิจกรรมนี้เชื่อมโยงกับกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์อย่างไร
2. นักวิทยาศาสตร์มีการใช้แบบจำลองเมื่อใด
3. แบบจำลองหรือแนวคิดในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ อย่างไร

จากกิจกรรมอาจกล่าวได้ว่า การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสังเกต การตั้งสมมติฐาน การทดลอง การลงความเห็นจากข้อมูล จากนั้นจึงนำองค์ความรู้เหล่านั้นมาผสมผสานกับจินตนาการ เพื่อสร้างเป็นแนวคิดหรือแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นมามีข้อมูลสนับสนุน เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับ อย่างไรก็ตามแนวคิดหรือแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีข้อโต้แย้งหรือมีการค้นพบข้อมูลใหม่ที่สามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ดีกว่าเดิม เช่นเดียวกับการศึกษาโครงสร้างอะตอมซึ่งมีขนาดเล็กมากและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า นักวิทยาศาสตร์ต้องใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ จากนั้นจึงนำความรู้ที่ได้มาประกอบกับจินตนาการเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองโครงสร้างอะตอมที่ได้รับการยอมรับและง่ายต่อการเข้าใจ เมื่อแบบจำลองอะตอมเดิมไม่สามารถใช้อธิบายข้อมูลหรือผลการทดลองใหม่ แบบจำลองอะตอมนั้น ๆ ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แบบจำลองอะตอมมีวิวัฒนาการดังนี้

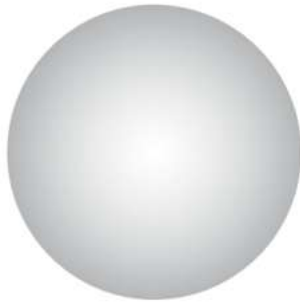
2.1.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน

ในปี พ.ศ. 2346 จอห์น ดอลตัน (John Dalton) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้เสนอทฤษฎีอะตอม เพื่อใช้อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงมวลของสารก่อนและหลังทำปฏิกิริยาเคมี รวมทั้งอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่รวมกันเป็นสารประกอบหนึ่ง ๆ ซึ่งมีสาระสำคัญดังนี้

1. ธาตุประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ อนุภาคเหล่านี้เรียกว่า อะตอม ซึ่งแบ่งแยกและทำให้สูญหายไม่ได้

2. อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันมีสมบัติเหมือนกัน เช่น มีมวลเท่ากัน แต่จะมีสมบัติแตกต่างจากอะตอมของธาตุอื่น

3. สารประกอบเกิดจากอะตอมของธาตุมากกว่าหนึ่งชนิดทำปฏิกิริยาเคมีกันในอัตราส่วนที่เป็นเลขลงตัวน้อย ๆ



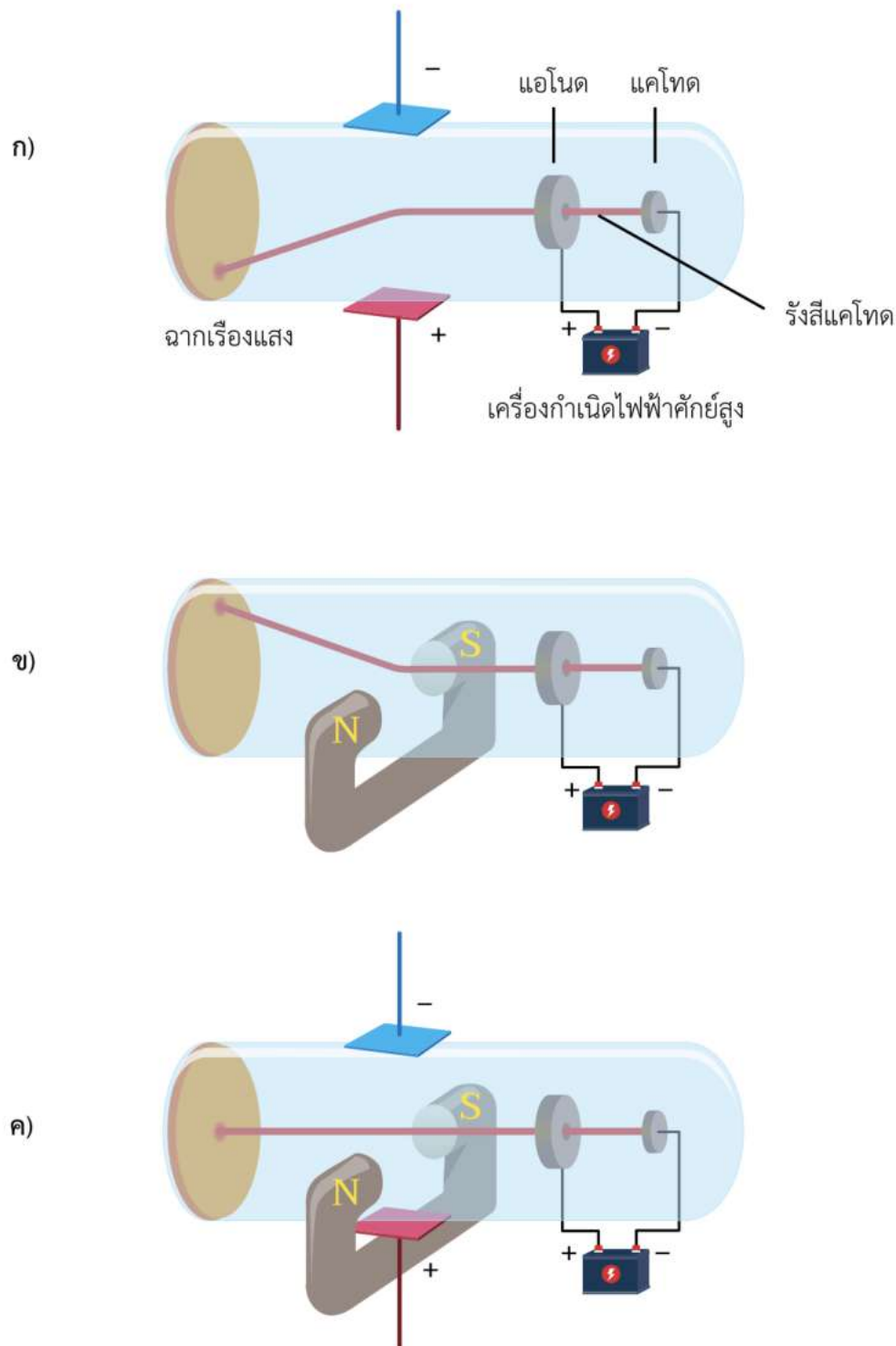
รูป 2.1 แบบจำลองอะตอมตามทฤษฎีของดอลตัน

ทฤษฎีอะตอมของดอลตันช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ในสมัยนั้นสามารถอธิบายลักษณะและสมบัติของอะตอมได้เพียงระดับหนึ่ง ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอะตอมเพิ่มขึ้น และค้นพบว่าข้อมูลบางประการไม่สอดคล้องกับแนวคิดของดอลตัน เช่น พบว่าอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันมีมวลแตกต่างกันได้ อะตอมสามารถแบ่งแยกได้ แนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของดอลตันจึงไม่ถูกต้อง

2.1.2 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

นักวิทยาศาสตร์หลายคนได้ศึกษาการนำไฟฟ้าของแก๊ส โดยทดลองเกี่ยวกับผลของการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงต่อการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าของอะตอมแก๊ส เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างภายในอะตอม โดยการผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในหลอดแก้วบรรจุแก๊สความดันต่ำ (ดูอากาศออก) ซึ่งที่ภาวะนี้มีจำนวนอะตอมของแก๊สไม่หนาแน่น ประจุไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ไกล และพบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าให้สูงขึ้นจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตลอด ขณะเดียวกันจะมีรังสีออกจากแคโทดไปยังแอโนด รังสีนี้เรียกว่า **รังสีแคโทด** (cathode ray) เรียกหลอดแก้วชนิดนี้ว่า **หลอดรังสีแคโทด** (cathode ray tube) เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นรังสีแคโทดด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้น เพื่อให้สามารถติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดได้ จึงต้องฉาบสารเรืองแสง เช่น ซิงค์ซัลไฟด์ ไว้ที่ฉาก เมื่อรังสีแคโทดตกกระทบที่ฉากจะปรากฏเป็นจุดเรืองแสงที่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้

นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดโดยให้เคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าดังรูป 2.2 ก) พบว่าแนวการเคลื่อนที่เบนไปจากเดิม โดยเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามไฟฟ้า เนื่องจากรังสีแคโทดเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามไฟฟ้าจึงสรุปว่ารังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ เมื่อศึกษาเพิ่มเติมโดยให้รังสีแคโทดเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กดังรูป 2.2 ข) พบว่าแนวการเคลื่อนที่เบนไปจากเดิมเช่นกัน



รูป 2.2 การศึกษาแนวการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทด

ก) แนวการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดผ่านสนามไฟฟ้า

ข) แนวการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดผ่านสนามแม่เหล็ก

ค) แนวการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดผ่านสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

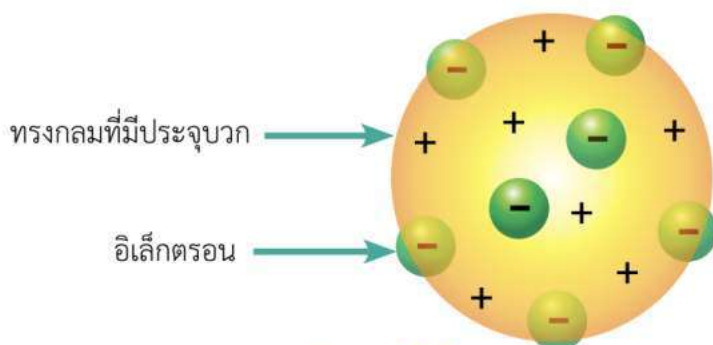
ในช่วงปี พ.ศ. 2440 โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (Joseph John Thomson) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ทำการทดลองโดยให้รังสีแคโทดเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และปรับขนาดของสนามไฟฟ้าให้พอเหมาะจนกระทั่งทิศทางการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดไม่เบนไปจากแนวเดิม ดังรูป 2.2 ค) ซึ่งสภาวะนี้แรงที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน จากข้อมูลการทดลองร่วมกับทฤษฎีทางแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ทอมสันนำมาใช้คำนวณอัตราส่วนของประจุต่อมวล (e/m) ของรังสีแคโทดได้ ทอมสันได้ทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนของประจุต่อมวลของรังสีแคโทดซ้ำหลายครั้งโดยเปลี่ยนชนิดของแก๊สและชนิดของโลหะที่เป็นแคโทดปรากฏว่าอัตราส่วนของประจุต่อมวลของรังสีแคโทดมีค่าโดยประมาณเท่ากันคือ 1.76×10^8 คูลอมบ์ต่อกรัม (C/g) จึงสรุปว่าอนุภาครังสีแคโทดที่ออกมาจากอะตอมต่างชนิดเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน ซึ่งต่อมาได้เรียกอนุภาคนี้ว่า **อิเล็กตรอน** (electron)



รู้หรือไม่

ในปี พ.ศ. 2429 ออยเกน โกลด์ชไตน์ (Eugen Goldstein) ได้ศึกษาหลอดรังสีแคโทดและได้ค้นพบ**รังสีแอนโนด** (anode ray) หรือ**รังสีแคแนล** (canal ray) ซึ่งมีประจุบวกแต่ยังลงรายละเอียดไม่ได้ในยุคนั้น จากการค้นพบของโกลด์ชไตน์และการศึกษาเพิ่มเติมของนักวิทยาศาสตร์อีกหลายคนในยุคต่อมา ทำให้ได้ข้อสรุปว่าในอะตอมนอกจากมีอิเล็กตรอนแล้วยังมีอนุภาคที่เป็นประจุบวกด้วยทำให้อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า

การค้นพบอิเล็กตรอนทำให้ทอมสันสรุปได้ว่า อะตอมทุกชนิดมีอิเล็กตรอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งลบล้างแนวคิดที่ว่าอะตอมแบ่งแยกไม่ได้ และเนื่องจากสารต่าง ๆ ที่อยู่ในสภาวะปกติจะเป็นกลางทางไฟฟ้า นักวิทยาศาสตร์จึงสรุปว่า อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทอมสันเสนอแบบจำลองของอะตอมว่า **อะตอมเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอมซึ่งมีประจุบวกและอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบกระจายอยู่ทั่วไป** ดังรูป 2.3 อะตอมในสภาพที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีจำนวนประจุบวกเท่ากับจำนวนประจุลบ



รูป 2.3 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ทอมสันเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่เสนอรายละเอียดภายในอะตอม ทำให้มีภาพของอะตอมชัดเจนขึ้น อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาต่อมา นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมและมีข้อมูลเพิ่มขึ้น ซึ่งแบบจำลองอะตอมของทอมสันไม่สามารถอธิบายได้

2.1.3 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

เมื่อปี พ.ศ. 2454 เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ และ ฮันส์ ไกเกอร์ (Hans Geiger) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้พิสูจน์แบบจำลองอะตอมของทอมสันโดยการยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำบาง ๆ การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดสอดคล้องหรือขัดแย้งกับแนวคิดของทอมสันอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 2.2



กิจกรรม 2.2 การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการทดลองเพื่อศึกษาโครงสร้างอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
2. อธิบายผลการค้นพบของรัทเทอร์ฟอร์ดว่าสนับสนุนหรือขัดแย้งกับแนวคิดของทอมสัน

วัสดุ และอุปกรณ์

1. กระดาษปรีฟ
2. ปากกาเมจิก

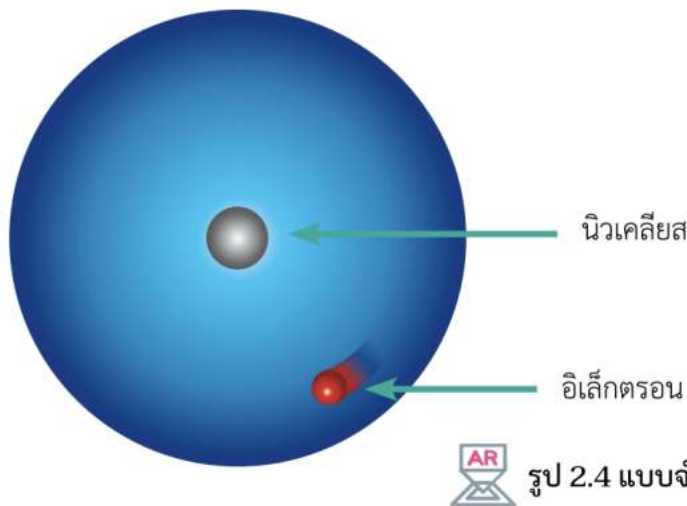
วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูล สมมติฐาน และการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดในการศึกษาโครงสร้างอะตอม
2. จัดทำโปสเตอร์นำเสนอข้อมูลการสืบค้น จากนั้นนำไปติดแสดงในบริเวณที่กำหนด
3. วางแผนการทำงานกับสมาชิกในกลุ่มโดย (อาจสลับบทบาททุก ๆ 5 นาที)
บทบาทที่ 1 อยู่ประจำโปสเตอร์เพื่ออธิบายข้อมูลให้กับสมาชิกจากกลุ่มอื่น
บทบาทที่ 2 ชมการนำเสนอของกลุ่มอื่นพร้อมแลกเปลี่ยนข้อมูล
4. ร่วมกันสรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรม

คำถามท้ายกิจกรรม

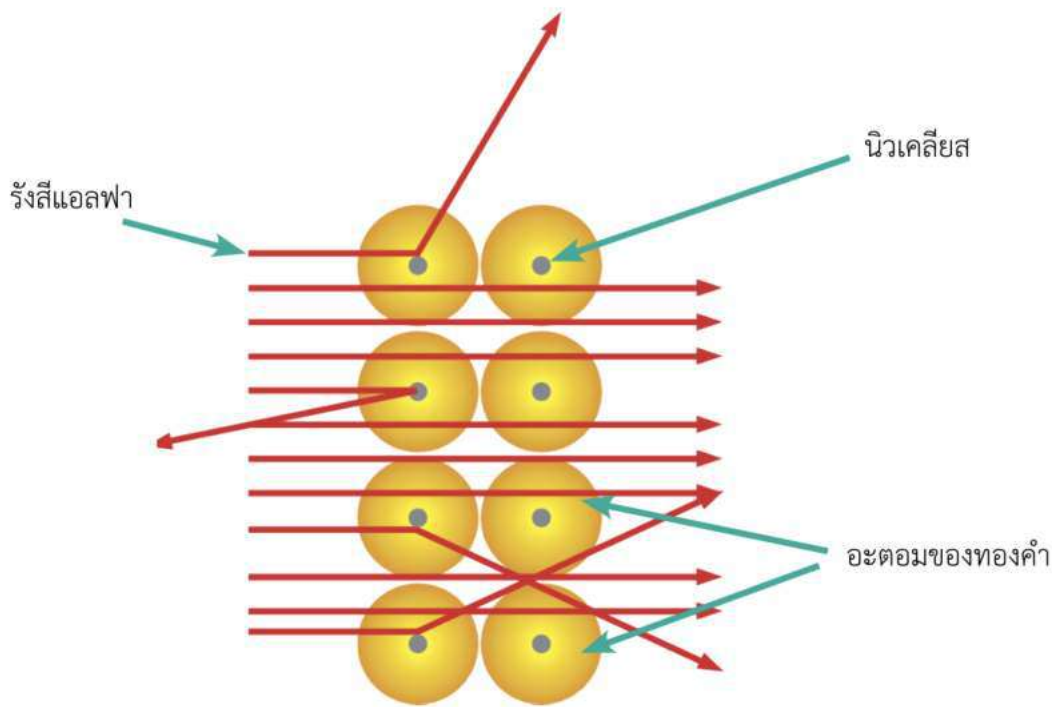
1. รังสีแอลฟาคืออะไร
2. สมมติฐานและการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเป็นอย่างไร (วาดรูปการทดลองประกอบ)
3. เพราะเหตุใดในการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดต้องทำแผ่นทองคำให้เป็นแผ่นบาง ๆ

จากกิจกรรมนักเรียนได้ทราบแล้วว่า ผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองอะตอมของทอมสัน รัทเทอร์ฟอร์ดอธิบายลักษณะภายในอะตอมว่า การที่รังสีแอลฟาส่วนใหญ่ผ่านแผ่นทองคำไปได้ แสดงว่าภายในอะตอมต้องมีที่ว่างอยู่เป็นบริเวณกว้าง การที่รังสีแอลฟาบางอนุภาคเบี่ยงเบนหรือสะท้อนกลับมายังบริเวณด้านหน้าของฉากเรืองแสง แสดงว่าภายในอะตอมน่าจะมีกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก มีมวลสูงมากกว่ารังสีแอลฟาและมีประจุบวก รัทเทอร์ฟอร์ดจึงได้เสนอแบบจำลองอะตอมใหม่ว่า **อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีขนาดเล็กมากอยู่ภายในและมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ** ดังรูป 2.4



รูป 2.4 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ตามแบบจำลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ภายในอะตอมมีนิวเคลียสซึ่งมีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับขนาดของอะตอม รังสีแอลฟาจึงมีโอกาสชนนิวเคลียสได้น้อยมาก ส่วนอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียสมีมวลน้อยมาก การชนกับอิเล็กตรอนจึงไม่มีผลทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของรังสีแอลฟาเปลี่ยนไป รังสีส่วนใหญ่จึงทะลุผ่านทองคำไปเป็นแนวตรง มีบางครั้งที่ยังรังสีแอลฟาวิ่งเฉียดนิวเคลียส ซึ่งจะถูกระเบิดของนิวเคลียสผลักให้เบนไปจากแนวเส้นตรง ส่วนรังสีแอลฟาที่วิ่งตรงไปยังนิวเคลียสซึ่งมีมวลมากก็就会被ผลักให้สะท้อนกลับ ดังแสดงในรูป 2.5



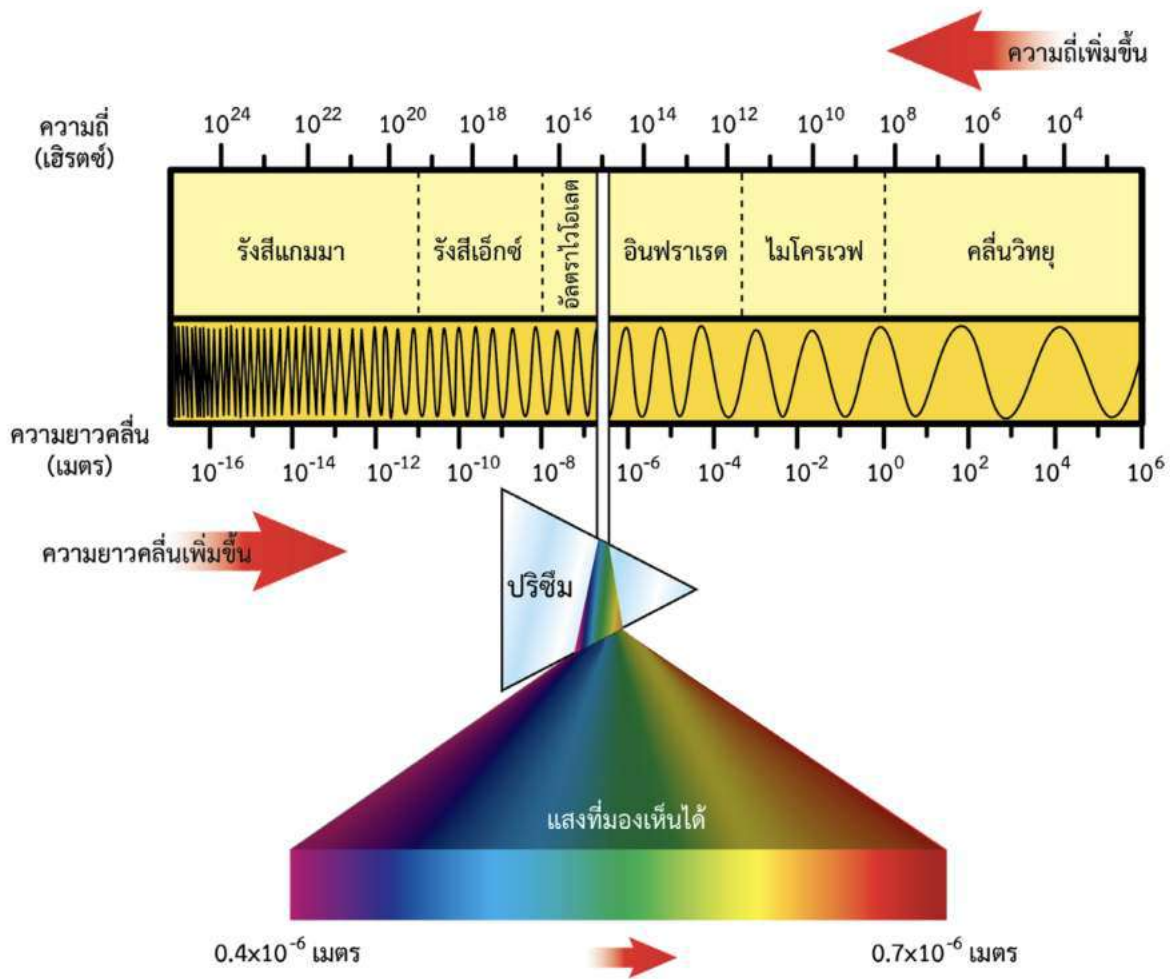
รูป 2.5 การใช้แบบจำลองอธิบายผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

ตามแนวคิดของรัทเทอร์ฟอร์ดจะพบว่ามวลส่วนใหญ่ของอะตอมคือมวลของนิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนถึงแม้จะเป็นส่วนประกอบที่ทำให้อะตอมมีขนาดใหญ่แต่มีมวลน้อยมากจนถือว่าไม่มีผลต่อมวลของอะตอม

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ไม่ได้อธิบายว่าอิเล็กตรอนอยู่รอบนิวเคลียสในลักษณะใด นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทำการทดลองเพื่อรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับตำแหน่งของอิเล็กตรอนเพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลองที่มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2.1.4.แบบจำลองอะตอมของโบร์

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน และมีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง มีทั้งที่มองเห็นได้และมองไม่เห็น มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน แสงที่ประสาทตาของมนุษย์สามารถรับรู้ได้เรียกว่า **แสงที่มองเห็นได้** (visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400–700 นาโนเมตร ซึ่งประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ กัน แต่ประสาทตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกแสงที่มองเห็นเป็นสีต่าง ๆ ได้เอง ทำให้มองเห็นสีรวมกัน ซึ่งเรียกว่า **แสงขาว** (white light) และเมื่อให้แสงขาวส่องผ่านปริซึม แสงขาวจะแยกออกเป็นแสงสีรุ้งต่อเนื่องกัน เรียกว่า แกลสเปกตรัมของแสงขาว ดังรูป 2.6



รูป 2.6 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

มักซ์ พลังค์ (Max Planck) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ศึกษาพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับความถี่ของคลื่นนั้นว่า พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแปรผันตามความถี่ของคลื่นและแปรผกผันกับความยาวคลื่น ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$E \propto \nu$$

หรือ

$$E = h\nu$$

เนื่องจาก

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

ดังนั้น

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

- เมื่อ
- E คือพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูล
 - h คือค่าคงตัวของพลังค์ มีค่า 6.626×10^{-34} จูลวินาที
 - ν คือความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
 - c คือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ ซึ่งเท่ากับ 2.997×10^8 เมตรต่อวินาที (อาจใช้ 3.0×10^8 เมตรต่อวินาที)
 - และ λ คือความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หน่วยเป็นเมตร

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ เมื่อนำมาคำนวณพลังงานของแถบสีต่าง ๆ ในสเปกตรัมของแสงขาว ซึ่งมีความยาวคลื่นต่าง ๆ จะได้ดังนี้

ตาราง 2.1 ช่วงความยาวคลื่นและพลังงานของแถบสีต่าง ๆ ในสเปกตรัมของแสงขาว

แถบสี	ความยาวคลื่น (nm)	พลังงาน (kJ)
ม่วง	400 – 420	$4.96 \times 10^{-22} - 4.73 \times 10^{-22}$
คราม – น้ำเงิน	420 – 490	$4.73 \times 10^{-22} - 4.05 \times 10^{-22}$
เขียว	490 – 580	$4.05 \times 10^{-22} - 3.42 \times 10^{-22}$
เหลือง	580 – 590	$3.42 \times 10^{-22} - 3.36 \times 10^{-22}$
แสด (ส้ม)	590 – 650	$3.36 \times 10^{-22} - 3.05 \times 10^{-22}$
แดง	650 – 700	$3.05 \times 10^{-22} - 2.84 \times 10^{-22}$

นักเรียนคิดว่าสเปกตรัมของธาตุจะมีลักษณะเป็นแถบสีเรียงต่อเนื่องกันเหมือนแถบสเปกตรัมของแสงขาวหรือไม่ และสเปกตรัมของธาตุต่างชนิดกันจะมีลักษณะเหมือนหรือต่างกันอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 2.3 การทดลองการศึกษาเส้นสเปกตรัมของธาตุ

จุดประสงค์การทดลอง

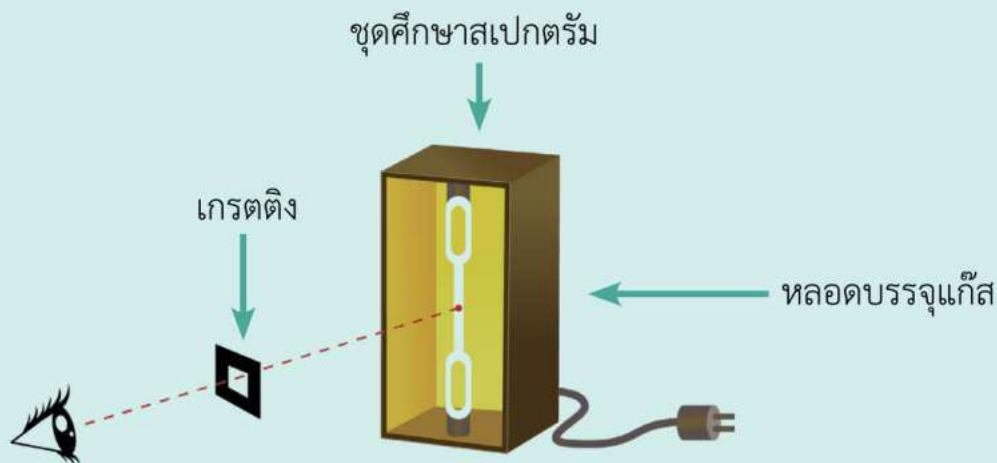
1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และแสงของหลอดบรรจุแก๊สชนิดต่าง ๆ
2. บอกความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และแสงของหลอดบรรจุแก๊สชนิดต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นเกรตติง
2. ชุดศึกษาสเปกตรัมของธาตุ
3. หลอดบรรจุแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น แก๊สไฮโดรเจน แก๊สฮีเลียม แก๊สนีออน ไอปรอท

วิธีทดลอง

1. ใช้แผ่นเกรตติงส่องดูแสงอาทิตย์ (ห้ามส่องดูดวงอาทิตย์โดยตรง) สังเกตสิ่งที่ปรากฏแล้วส่องดูแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เปรียบเทียบสีที่สังเกตได้จากการดูแสงทั้งสองแหล่ง
2. เตรียมอุปกรณ์สำหรับศึกษาสเปกตรัมของธาตุโดยใช้ชุดศึกษาสเปกตรัม ดังรูป



หมายเหตุ การศึกษาแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และสเปกตรัมของธาตุควรทำในที่มืด

3. ใช้แผ่นเกรตติงส่องดูที่หลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจนขณะที่กำลังเรืองแสง สังเกตเส้นสเปกตรัมที่ปรากฏ บันทึกผลการสังเกต
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3 แต่เปลี่ยนหลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจนเป็นหลอดบรรจุแก๊สฮีเลียม แก๊สนีออน และไอปรอท สังเกตเส้นสเปกตรัมที่ปรากฏ

คำถามท้ายการทดลอง

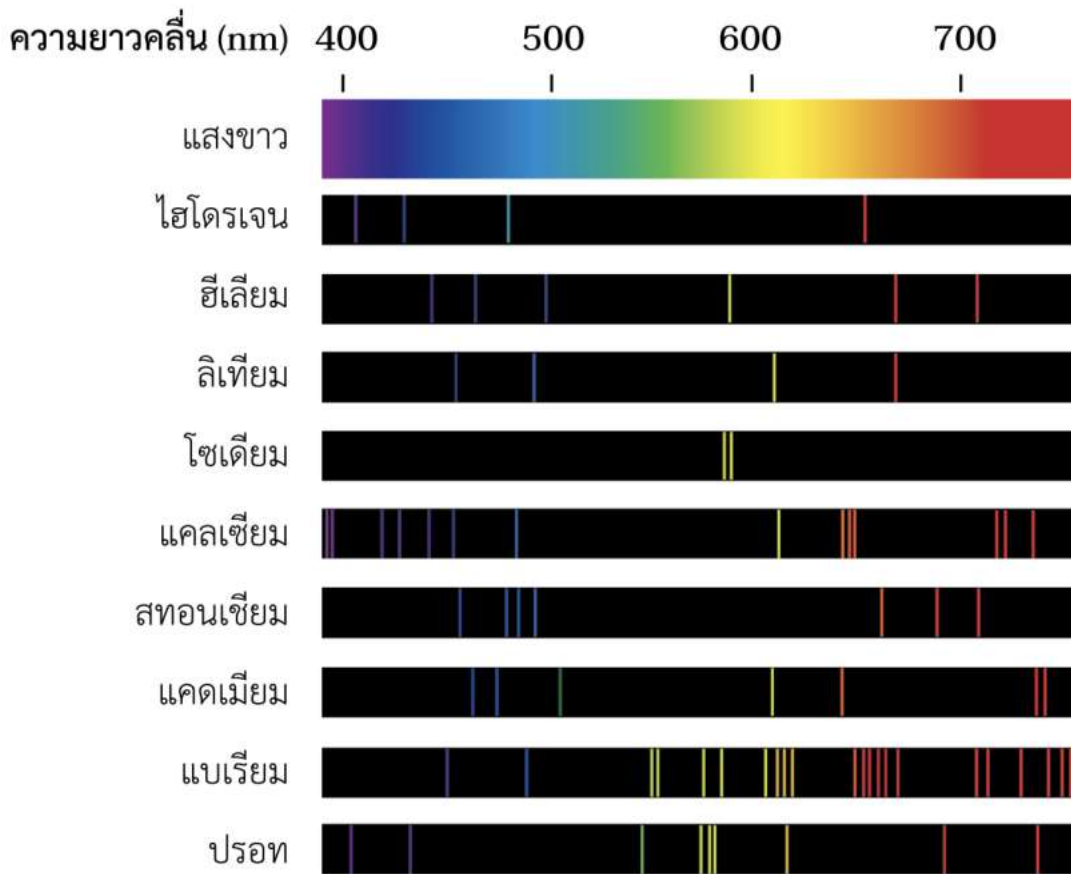
1. สเปกตรัมที่มองเห็นจากการใช้แผ่นเกรตติงส่องดูแสงอาทิตย์กับแสงไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร
2. เส้นสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน แก๊สฮีเลียม แก๊สนีออน และไอปรอทแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร



ชวนคิด

นอกจากแผ่นเกรตติงแล้วยังมีอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นที่สามารถนำมาใช้ส่องดูเส้นสเปกตรัมของธาตุได้อีกหรือไม่

จากผลการทดลองสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมจากแสงอาทิตย์มีแสงสีต่อเนื่องกันเป็น แถบสเปกตรัม (spectrum band) ส่วนสเปกตรัมที่มองเห็นจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากจะมองเห็นแถบสเปกตรัมของสีต่าง ๆ เป็นพื้นแล้วยังมีเส้นสีต่าง ๆ ปรากฏในแถบสเปกตรัมด้วย และจากการสังเกตสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน ฮีเลียม นีออน และไอปรอท พบว่าธาตุแต่ละชนิดให้สเปกตรัมที่มีเส้นสีต่างกันและมีจำนวนเส้นสีเฉพาะตัว เส้นสีต่าง ๆ นี้เรียกว่า **เส้นสเปกตรัม** (spectrum line)



รูป 2.7 แถบสเปกตรัมของแสงขาวและเส้นสเปกตรัมของธาตุบางชนิด

ธาตุต่าง ๆ เมื่อได้รับพลังงานจะเปล่งแสงเป็นสีต่าง ๆ หลายสี เมื่อสีเหล่านั้นรวมกันแล้วจะสังเกตเห็นเป็นสีขาวซึ่งเราไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ แต่เมื่อใช้แผ่นเกรตติงส่องดูจะเห็นเส้นสเปกตรัมของแต่ละธาตุที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น จำนวนเส้น สี หรือตำแหน่งที่เกิดต่างกันไป การเกิดเส้นสเปกตรัมของธาตุอธิบายได้ว่า อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสมีพลังงานเฉพาะตัวที่ต่ำหรือกล่าวได้ว่าอะตอมอยู่ใน **สถานะพื้น** (ground state) เมื่ออะตอมได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้นหรือเรียกว่าอะตอมอยู่ใน **สถานะกระตุ้น** (excited state) ที่สถานะนี้อะตอมจะไม่เสถียร เนื่องจากมีพลังงานสูง อิเล็กตรอนจึงคายพลังงานออกมาส่วนหนึ่งทำให้อะตอมมีพลังงานลดลงแล้วกลับเข้าสู่สถานะที่มีพลังงานต่ำลงเพื่อให้อะตอมมีความเสถียรมากขึ้น พลังงานส่วนใหญ่ที่คายออกมาจะปรากฏในรูปพลังงานแสง และสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการของพลังค์ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ถ้าแสงสีเหล่านี้แยกออกจากกันอย่างชัดเจนจะปรากฏเป็นเส้นสเปกตรัม แต่ถ้าแสงสีที่ปรากฏออกมามีลักษณะต่อเนื่องกันเช่นเดียวกับรุ้งหรือจากไส้หลอดไฟฟ้าซึ่งเป็นโลหะร้อนและมีอะตอมอยู่กันอย่างหนาแน่น จะให้สเปกตรัมเป็นแถบสเปกตรัมซึ่งยากแก่การวิเคราะห์และแปลผล สถานะของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่าง ๆ เรียกว่า **ระดับพลังงานของอิเล็กตรอน** (energy level of electron)

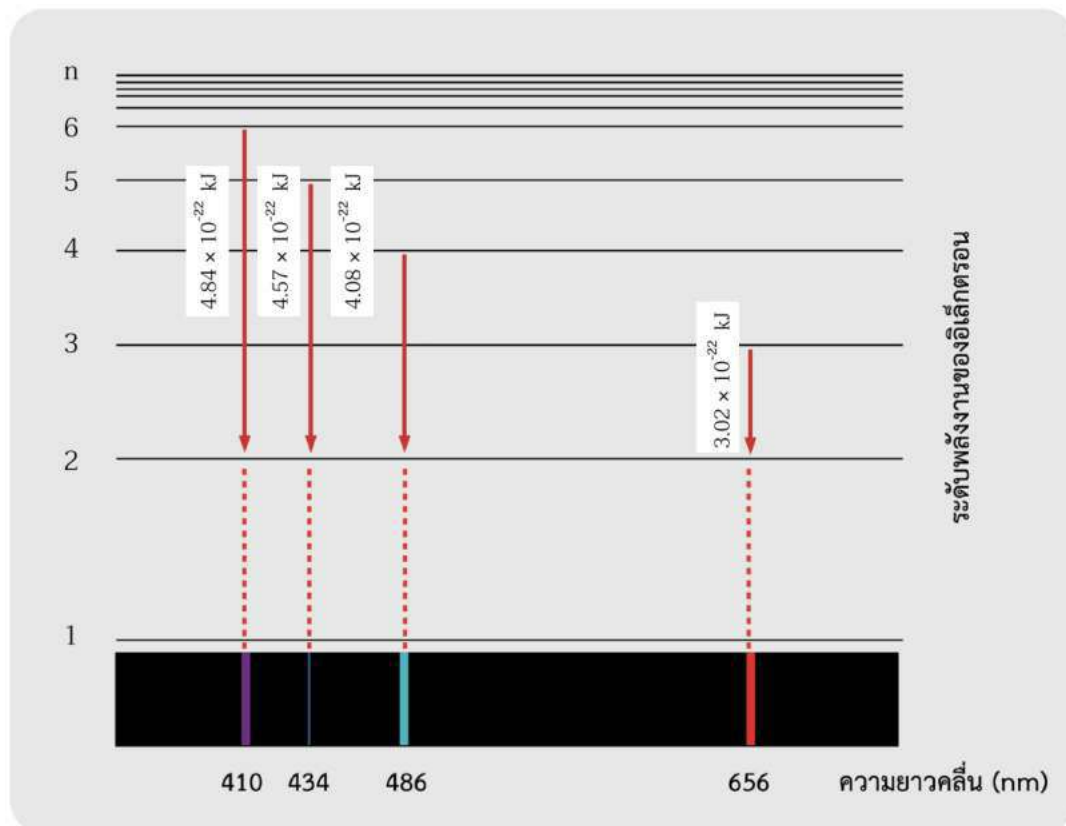
จากการศึกษาเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนซึ่งมี 1 อิเล็กตรอน พบว่ามีเส้นสเปกตรัมปรากฏในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ โดยมีความยาวคลื่น 410 434 486 และ 656 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ติดกัน จะได้ข้อมูลดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน

เส้นสเปกตรัม	ความยาวคลื่น (nm)	พลังงาน (kJ)	ผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ติดกัน (kJ)
สีม่วง	410	4.84×10^{-22}	} 2.7×10^{-23}
สีคราม	434	4.57×10^{-22}	
น้ำเงิน	486	4.08×10^{-22}	} 4.9×10^{-23}
สีแดง	656	3.02×10^{-22}	} 10.6×10^{-23}

จากข้อมูลในตาราง 2.2 แสดงว่าอะตอมของไฮโดรเจนมีพลังงานหลายระดับโดยความแตกต่างระหว่างพลังงานแต่ละระดับที่อยู่ถัดไปมีค่าไม่เท่ากันและความแตกต่างของพลังงานมีค่าน้อยลงเมื่อระดับพลังงานสูงขึ้น

การที่นักวิทยาศาสตร์ใช้อะตอมของไฮโดรเจนเป็นตัวอย่างในการแปลความหมายของเส้นสเปกตรัม เพราะอะตอมของไฮโดรเจนมีอิเล็กตรอนเดียว จากการทดลองหลายครั้งพบว่า อะตอมของไฮโดรเจนให้เส้นสเปกตรัมได้หลายเส้นที่มีลักษณะเหมือนกันทุกครั้ง จึงสรุปได้ว่าอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจนขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่มีพลังงานแตกต่างกันได้หลายระดับ ค่าพลังงานของเส้นสเปกตรัมแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมจากระดับพลังงานสูงมายังระดับพลังงานต่ำ ดังรูป 2.8



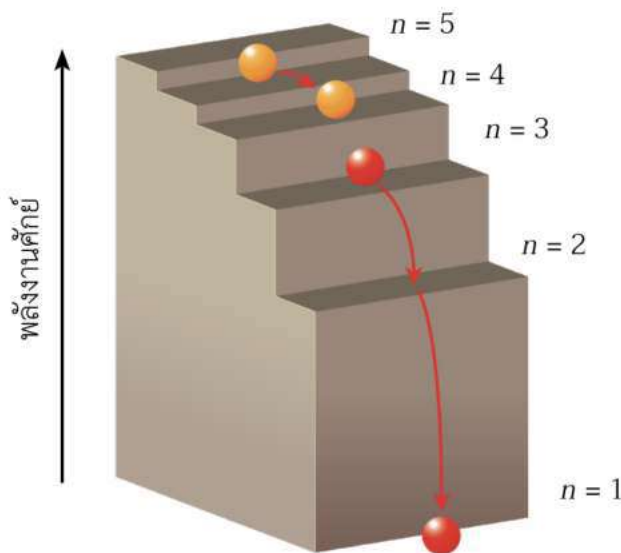
รูป 2.8 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจน



รู้หรือไม่

เส้นสเปกตรัมหลายเส้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานที่สูงกว่าลงมายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่าในระดับเดียวกัน เรียกว่า **อนุกรมสเปกตรัม** (spectrum series) เช่น อนุกรมบัลเมอร์ เป็นการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากระดับที่สูงกว่าลงมายังระดับพลังงานที่ 2 ($n = 2$) อนุกรมชุดนี้เป็นชุดแรกค้นพบและให้สเปกตรัมที่อยู่ในช่วงที่มองเห็นได้

การเปลี่ยนแปลงพลังงานของอิเล็กตรอนระหว่างสถานะกระตุ้นและสถานะพื้นสามารถอุปมาได้กับการกลิ้งลงชันบันไดของลูกบอล ดังรูป 2.9



รูป 2.9 เปรียบเทียบการกลิ้งลงบันไดของลูกบอลกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของอิเล็กตรอน

หมายเหตุ การอุปมานี้นับระดับพื้นเป็นชั้นที่ 1 ซึ่งอาจต่างจากการนับชั้นบันไดจริง ๆ

จากรูปจะเห็นว่าพลังงานศักย์ ณ บันไดแต่ละชั้นมีค่าไม่เท่ากัน โดยลูกบอลที่อยู่บันไดชั้นต่ำจะมีพลังงานศักย์ต่ำกว่าบันไดชั้นสูง และผลต่างของพลังงานระหว่างบันไดสองชั้นมีค่าเฉพาะตัวที่แน่นอน โดยชั้นบันไดที่อยู่ห่างกันมากจะมีผลต่างของพลังงานมากกว่าชั้นบันไดที่อยู่ติดกัน เช่น ผลต่างของพลังงานระหว่างชั้นที่ 1 กับชั้นที่ 3 จะมีค่ามากกว่าชั้นที่ 1 กับชั้นที่ 2 หรืออาจสรุปได้ว่าผลต่างของพลังงานศักย์ระหว่างชั้นบันไดขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความสูงของชั้นบันไดและมีค่าเฉพาะตัว การกลิ้งลงชั้นบันไดของลูกบอล ลูกจะต้องกลิ้งลงและหยุดที่ชั้นบันไดเท่านั้น ลูกบอลไม่สามารถหยุดระหว่างชั้นบันไดได้เนื่องจากไม่มีที่พักระหว่างชั้นบันได ลูกบอลอาจกลิ้งและหยุดบนชั้นบันไดชั้นที่ติดกันหรือชั้นที่อยู่ห่างออกไปได้ เช่น จากชั้นที่ 5 ลงมายังชั้นที่ 4 หรือจากชั้นที่ 3 ลงมายังชั้นที่ 1

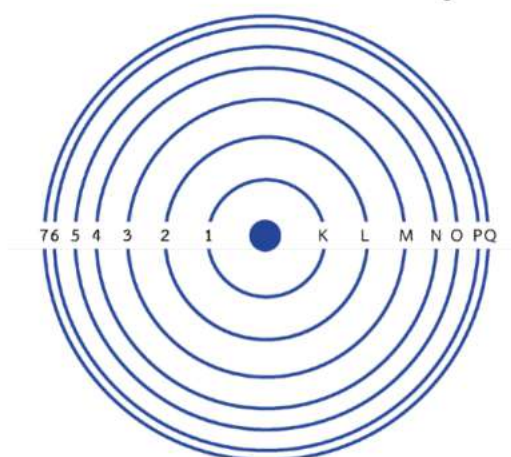
จากการศึกษาเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนทำให้นักวิทยาศาสตร์สรุปได้ว่า

1. เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานในปริมาณที่เหมาะสม อิเล็กตรอนจะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าระดับพลังงานเดิม แต่จะอยู่ในระดับใดขึ้นกับปริมาณพลังงานที่ได้รับ การที่อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานใหม่ทำให้อะตอมไม่เสถียร อิเล็กตรอนจะกลับมาอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำกว่า ซึ่งการเปลี่ยนตำแหน่งของแต่ละระดับพลังงานนี้ อิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยความถี่เฉพาะค่าหนึ่งหรือกล่าวได้ว่าการดูดหรือคายพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมต้องมีค่าเฉพาะตามทฤษฎีของพลังค์ โดยมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นคูณด้วยค่าคงที่ของพลังค์ ดังที่กล่าวมาแล้ว

2. การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนไปยังระดับพลังงานที่อยู่ติดกัน อาจมีการเปลี่ยนข้ามระดับพลังงานได้ และจะอยู่ระหว่างระดับพลังงานไม่ได้

3. ผลต่างระหว่างพลังงานของระดับพลังงานต่ำ จะมีค่ามากกว่าผลต่างระหว่างพลังงานของระดับพลังงานที่สูงขึ้นไป

จากความรู้เรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและการเกิดสเปกตรัม ช่วยให้ นีลส์ โบร์ (Niels Bohr) นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก สร้างแบบจำลองอะตอมเพื่อใช้อธิบาย พฤติกรรมของอิเล็กตรอนในอะตอมได้ โดยกล่าวว่า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็น วงคล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์ แต่ละวงจะมีระดับพลังงานเฉพาะตัว ระดับ พลังงานของอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้นิวเคลียสที่สุดมีพลังงานต่ำที่สุดเรียกว่าระดับ K และระดับ พลังงานที่อยู่ถัดออกมาเรียกเป็น L M N ... ตามลำดับ ดังรูป 2.10



รูป 2.10 แบบจำลองอะตอมของโบร์ที่แสดงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

ต่อมาได้มีการใช้ตัวเลขแสดงถึงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน คือ $n = 1$ หมายถึงระดับ พลังงานที่ 1 ซึ่งอยู่ ใกล้กับนิวเคลียสที่สุด และชั้นถัดออกมาเป็น $n = 2$ หมายถึงระดับพลังงานที่ 2 ต่อจากนั้น $n = 3 \ 4 \dots$ หมายถึงระดับ พลังงานที่ 3 4 และสูงขึ้นไปตามลำดับ

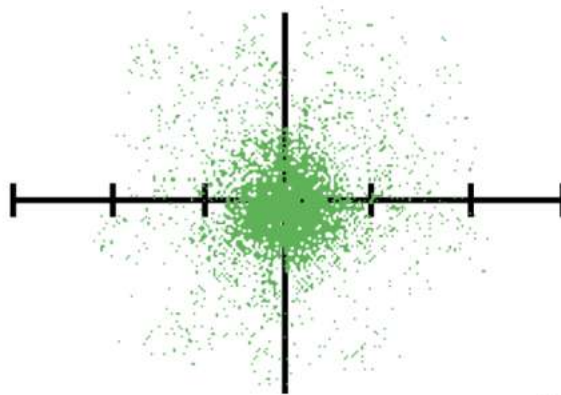


ชวนคิด

1. จากรูป 2.7 การที่เส้นสเปกตรัมของปรอทมีมากกว่าไฮโดรเจนแปลความหมายได้อย่างไร
2. เพราะเหตุใดแสงของดวงอาทิตย์และหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อผ่านแผ่นเกรตติงจึง สังเกตเห็นเป็นแถบสเปกตรัม

2.1.5 แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

แบบจำลองอะตอมของโบร์มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้อธิบายสเปกตรัมของอะตอมที่มีหลายอิเล็กตรอนได้ นักวิทยาศาสตร์จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมจนได้ข้อมูลเพียงพอที่จะเชื่อว่าอิเล็กตรอนมีสมบัติเป็นทั้งอนุภาคและคลื่นโดยเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส บริเวณที่พบอิเล็กตรอนมีหลายลักษณะเป็นรูปทรงต่าง ๆ ตามระดับพลังงานของอิเล็กตรอน จากการประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ เพื่อหาโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่าง ๆ พบว่าสามารถอธิบายเส้นสเปกตรัมของธาตุได้ถูกต้องกว่าแบบจำลองอะตอมของโบร์และสามารถอธิบายได้ว่าอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กมากและเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วตลอดเวลาไปทั่วทั้งอะตอม จึงไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนได้ อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์พบว่ามีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสบางบริเวณเท่านั้น ทำให้สร้างมโนภาพได้ว่าอะตอมประกอบด้วยกลุ่มหมอกอิเล็กตรอน (electron cloud) รอบนิวเคลียส บริเวณที่กลุ่มหมอกทึบแสดงว่ามีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนได้มากกว่าบริเวณที่มีกลุ่มหมอกจาง เรียกแบบจำลองนี้ว่าแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก (electron cloud model of atom) ดังรูป 2.11 (แต่ละจุดคือ 1 โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน)



รูป 2.11 ภาพ 2 มิติแสดงกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนอะตอมซึ่งมี 1 อิเล็กตรอน

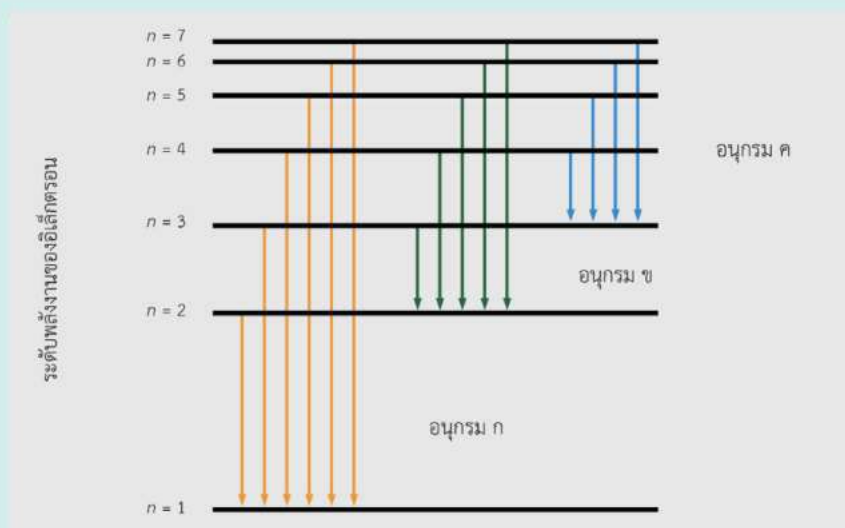
แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกที่แสดงถึงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสทำได้ยาก โดยทั่วไปจึงพิจารณาอะตอมในลักษณะทรงกลม เช่น ลูกบิ๊งปอง หรือพลาสติกทรงกลมเป็นแบบจำลองแทนอะตอมของธาตุ แต่นักเรียนควรระลึกไว้เสมอว่าการใช้แบบจำลองเช่นนี้เพียงเพื่อช่วยให้คิดตามได้ง่ายขึ้นเท่านั้น เมื่อนักเรียนได้ศึกษาในระดับที่สูงขึ้นไปจะพบว่ารูปทรงของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนไม่ได้มีเพียงรูปทรงกลมเท่านั้น

โครงสร้างอะตอมตามแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกยังไม่ใช่อายุติในการศึกษาทดลองเกี่ยวกับอะตอม เพราะความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นในอนาคตจึงอาจมีแบบจำลองอะตอมแบบอื่นตามข้อมูลที่ค้นพบใหม่



แบบฝึกหัด 2.1

1. เส้นสเปกตรัมเส้นหนึ่งของธาตุซีเซียมมีความยาวคลื่น 456 นาโนเมตร จะปรากฏเป็นสีใด
2. เหตุใดเส้นสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจนจึงมีหลายเส้นทั้งที่เป็นธาตุที่มีเพียง 1 อิเล็กตรอน
3. จากรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน กำหนดอนุกรมต่อไปนี้อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงที่ตามองเห็น และช่วงอินฟราเรด



ถ้า “อนุกรม ข” คือช่วงที่ตามองเห็น อนุกรมใดคือช่วงอัลตราไวโอเล็ต และอินฟราเรดตามลำดับ

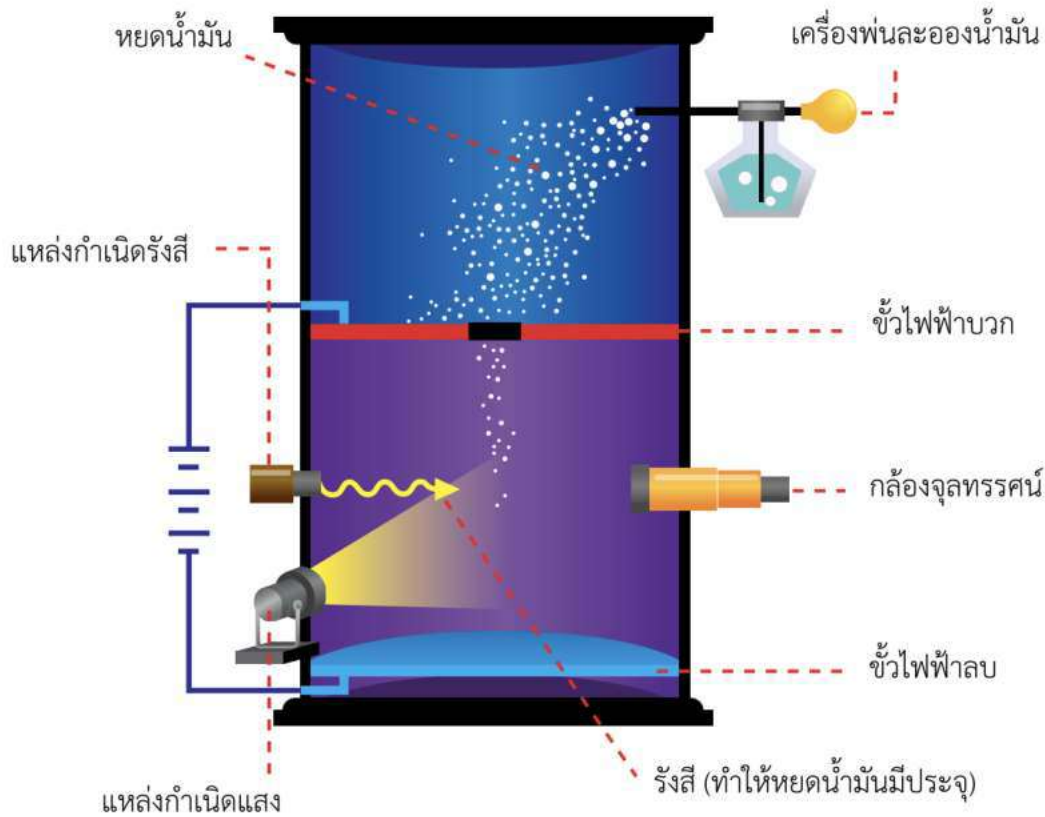
4. จงเขียนผังมโนทัศน์ (concept map) เพื่ออธิบายวิวัฒนาการแบบจำลองอะตอม

2.2 อนุภาคในอะตอมและไอโซโทป

ในหัวข้อที่ผ่านมา นักเรียนได้ทราบแล้วว่าทอมสันค้นพบอิเล็กตรอนและค่าประจุต่อมวล ในหัวข้อนี้นักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับอนุภาคชนิดอื่นที่เป็นองค์ประกอบของอะตอม

2.2.1 อนุภาคในอะตอม

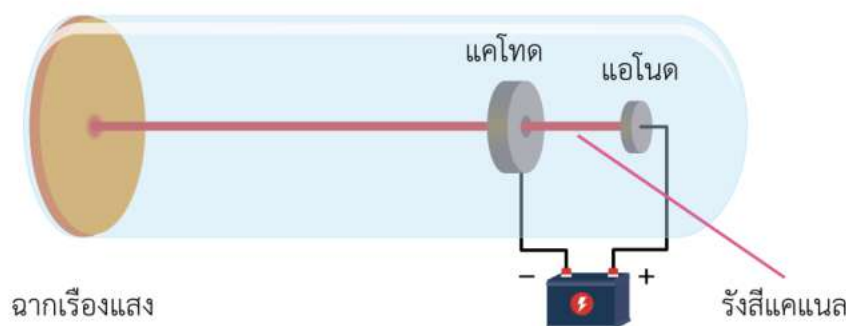
ในปี พ.ศ. 2451 รอเบิร์ต แอนดรูส์ มิลลิแกน (Robert Andrews Millikan) นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันได้ทำการหาค่าประจุของอิเล็กตรอนโดยอาศัยการสังเกตหยดน้ำมันในสนามไฟฟ้า ดังรูป 2.12



รูป 2.12 การทดลองหยดน้ำมันมิลลิแกน

เมื่อละอองน้ำมันที่ร่วงผ่านรูบนขั้วไฟฟ้าบวกกระทบรังสีจะมีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น ทำให้ละอองน้ำมันบางหยดเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก บางหยดเข้าหาขั้วไฟฟ้าลบ และบางหยดลอยนิ่งอยู่ระหว่างสนามไฟฟ้า ขนาดของหยดน้ำมันที่ลอยนิ่งอยู่ระหว่างสนามไฟฟ้าสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ และนำมาคำนวณหามวลของหยดน้ำมันที่ทราบความหนาแน่นของน้ำมัน และจากความสัมพันธ์ของน้ำหนักของหยดน้ำมันที่ลอยนิ่งเท่ากับแรงที่เกิดจากสนามไฟฟ้า ทำให้สามารถคำนวณค่าประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันได้ ซึ่งพบว่าประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ 1.60×10^{-19} คูลอมบ์ มิลลิแกนจึงสรุปว่าประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.60×10^{-19} คูลอมบ์ เมื่อนำมาใช้คำนวณร่วมกับค่าประจุต่อมวลที่รายงานไว้โดยทอมสันจะได้มวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 9.11×10^{-28} กรัม

ในปี พ.ศ. 2429 ออยเกน โกลด์ชไตน์ (Eugen Goldstein) ได้ทำการดัดแปลงหลอดรังสีแคโทด โดยการสลับตำแหน่งของแคโทดและแอโนด ดังรูป 2.13 ซึ่งเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปพบว่า ฉากเกิดการเรืองแสง แสดงว่ามีรังสีออกจากแอโนด ซึ่งโกลด์ชไตน์เรียกรังสีชนิดนี้ว่า รังสีแคแนล (canal ray) หรือรังสีแอโนด (anode ray) ซึ่งมีประจุบวก



รูป 2.13 หลอดรังสีแคโทดที่ดัดแปลง

โกลด์สไตน์ได้ทำการทดลองกับแก๊สหลายชนิดพบว่ารังสีแคโทดมีค่าประจุต่อมวล (e/m) ไม่คงที่จนกระทั่งกลุ่มนักวิจัยนำทีมโดยรัทเทอร์ฟอร์ดและทอมสันได้ทำการศึกษาลอดในลักษณะเดียวกันที่บรรจุแก๊สไฮโดรเจน ทำให้ได้ข้อสรุปว่าอนุภาคบวกมีค่าประจุเท่ากับอิเล็กตรอน และหาค่ามวลของประจุบวกได้เป็น 1.673×10^{-24} กรัม ซึ่งมากกว่ามวลของอิเล็กตรอนประมาณ 1,840 เท่า เรียกอนุภาคนี้ว่า **โปรตอน** (proton)

ในปี พ.ศ. 2475 เจมส์ แชดวิก (James Chadwick) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ทดลองยิงอนุภาคแอลฟาไปยังอะตอมของธาตุต่าง ๆ และทดสอบผลการทดลองด้วยเครื่องมือที่มีความเที่ยงสูง ทำให้ทราบว่าในนิวเคลียสมีอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าและเรียกอนุภาคนี้ว่า **นิวตรอน** (neutron) ซึ่งมีมวลใกล้เคียงกับมวลของโปรตอน การค้นพบนิวตรอนช่วยอธิบายและสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับมวลของอะตอม ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่ามวลรวมของโปรตอน เช่น ธาตุคาร์บอนมีมวลของโปรตอนรวมกัน 6 หน่วย แต่มวลของอะตอมมีค่า 12 หน่วย และมวลของธาตุส่วนใหญ่มีค่าเป็น 2 เท่าหรือมากกว่า 2 เท่าของมวลโปรตอนทั้งหมดรวมกัน ดังนั้น อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน จึงเป็น **อนุภาคในอะตอม** (subatomic particle) ซึ่งอนุภาคแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ข้อมูลบางประการของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)	ชนิดประจุไฟฟ้า	มวล (กรัม)
อิเล็กตรอน	e หรือ e^-	1.602×10^{-19}	-1	9.109×10^{-28}
โปรตอน	p หรือ p^+	1.602×10^{-19}	+1	1.673×10^{-24}
นิวตรอน	n	0	0	1.675×10^{-24}

2.2.2 เลขอะตอม เลขมวล และไอโซโทป

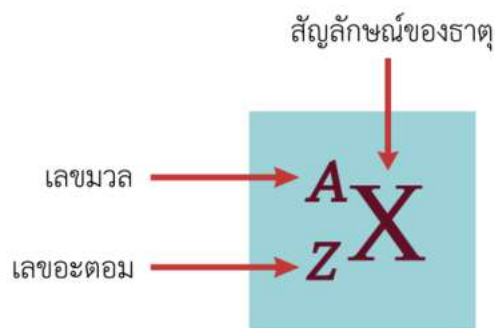
อะตอมประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนรวมกันเป็นนิวเคลียสของอะตอม และมีอิเล็กตรอน ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนโปรตอนเคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียส อะตอมของธาตุแต่ละชนิดมีจำนวนโปรตอนเฉพาะตัวไม่ซ้ำกับธาตุอื่น ตัวเลขที่แสดงจำนวนโปรตอนเรียกว่า **เลขอะตอม** (atomic number, Z) และเนื่องจากมวลของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยมาก ดังนั้นมวลของอะตอมส่วนใหญ่จึงเป็นมวลของนิวเคลียสที่ประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน เรียกผลรวมของจำนวนโปรตอนและนิวตรอนว่า **เลขมวล** (mass Number, A) เช่น คาร์บอนมี 6 โปรตอนจึงมีเลขอะตอมเท่ากับ 6 โดยอาจมี 6 หรือ 7 นิวตรอน จึงมีเลขมวลเป็น 12 หรือ 13 ตามลำดับ



ตรวจสอบความเข้าใจ

โซเดียมมี 11 โปรตอน และมี 12 นิวตรอน โซเดียมมีเลขอะตอมและเลขมวลเท่ากับเท่าใดตามลำดับ

สัญลักษณ์ที่เขียนแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสัญลักษณ์ของธาตุ เลขอะตอม และเลขมวลของอะตอม เรียกว่า **สัญลักษณ์นิวเคลียร์** (nuclear symbol) วิธีเขียนที่ตกลงกันเป็นสากล ให้เขียนเลขอะตอมไว้ด้านล่างซ้าย และเลขมวลไว้ด้านบนซ้ายของสัญลักษณ์ ดังรูป 2.14



รูป 2.14 สัญลักษณ์นิวเคลียร์

อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันมีจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนอาจมีได้หลายค่า ทำให้อะตอมของธาตุเดียวกันมีมวลต่างกัน เฟรเดอริก ซอดดี (Frederick Soddy) นักเคมีชาวอังกฤษ เรียกอะตอมของธาตุเดียวกันที่มีเลขมวลต่างกันว่า **ไอโซโทป** (isotope) ธาตุชนิดหนึ่งอาจมีหลายไอโซโทป บางไอโซโทปมีอยู่ในธรรมชาติและบางไอโซโทปได้จากการสังเคราะห์ เช่น ไฮโดรเจน มี 3 ไอโซโทป มีเลขมวล 1 2 และ 3 มีชื่อเฉพาะว่า โปรเทียม (protium) ดิวทีเรียม (deuterium) และ ทริเทียม (tritium) ตามลำดับ ไฮโดรเจนที่เกิดในธรรมชาติมีปริมาณโปรเทียมอยู่ถึงร้อยละ 99.99 แต่ละไอโซโทปของไฮโดรเจนเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ได้เป็น ${}^1_1\text{H}$ ${}^2_1\text{H}$ และ ${}^3_1\text{H}$ อาจเขียนอย่างย่อโดยเขียนเฉพาะสัญลักษณ์ของธาตุกับเลขมวลก็ได้ โดยเขียนเป็น ${}^1\text{H}$ ${}^2\text{H}$ และ ${}^3\text{H}$ หรือ H-1 H-2 และ H-3 แต่ละไอโซโทปของไฮโดรเจนมีชื่อเฉพาะ และใช้สัญลักษณ์แทนดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของแต่ละไอโซโทปของไฮโดรเจน

สัญลักษณ์นิวเคลียร์	ชื่อเฉพาะ	สัญลักษณ์
${}^1_1\text{H}$ หรือ ${}^1\text{H}$ หรือ H-1	โปรเทียม	H
${}^2_1\text{H}$ หรือ ${}^2\text{H}$ หรือ H-2	ดิวทีเรียม	D
${}^3_1\text{H}$ หรือ ${}^3\text{H}$ หรือ H-3	ทริเทียม	T

คาร์บอนมีเลขอะตอม 6 มี 3 ไอโซโทป ซึ่งมีเลขมวล 12 13 และ 14 สัญลักษณ์นิวเคลียร์จึงเป็น ${}^{12}_6\text{C}$ ${}^{13}_6\text{C}$ และ ${}^{14}_6\text{C}$ เขียนแบบย่อเป็น ${}^{12}\text{C}$ ${}^{13}\text{C}$ และ ${}^{14}\text{C}$ หรือ C-12 C-13 และ C-14 การเรียกชื่อของไอโซโทปของธาตุจะเรียกขึ้นต้นด้วยชื่อของธาตุและตามด้วยเลขมวล เช่น ${}^{14}\text{C}$ มีเลขมวล 14 จะมี 6 โปรตอน และ 8 นิวตรอน เรียกไอโซโทปนี้ว่า คาร์บอน-14 (C-14)



ตรวจสอบความเข้าใจ

ธาตุต่างชนิดกันต้องมีเลขมวลต่างกันเสมอหรือไม่



แบบฝึกหัด 2.2

- เขียนแผนผังเวนน์เปรียบเทียบสมบัติของโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน
- จากการทดลองของมิลลิแกน ถ้าพบว่าหยดน้ำมันที่ลอยนิ่งหยดหนึ่งมีค่าประจุเท่ากับ 6.4×10^{-19} คูลอมป์ หยดน้ำมันนี้มีอิเล็กตรอนเกาะอยู่จำนวนเท่าใด
- ฮีเลียมมี 2 โปรตอน 2 นิวตรอน และ 2 อิเล็กตรอน มวลของอะตอมฮีเลียมที่คำนวณจาก มวลของโปรตอนและนิวตรอน เทียบกับมวลที่คำนวณจากองค์ประกอบของอนุภาคทั้งหมด ต่างกันร้อยละเท่าใด
- จงเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของไอโซโทปต่าง ๆ ของธาตุ X ซึ่งมี 9 อิเล็กตรอนและมี นิวตรอน 9 10 และ 11 ตามลำดับ
- พิจารณาสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุสมมติต่อไปนี้ ${}^{40}_{18}\text{A}$ ${}^{42}_{18}\text{B}$ ${}^{40}_{19}\text{C}$ ${}^{40}_{20}\text{D}$ และ ${}^{42}_{21}\text{E}$ ธาตุใดเป็นไอโซโทปกัน เพราะเหตุใด

2.3 การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

2.3.1 จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละระดับพลังงาน

จากการศึกษาแบบจำลองอะตอม ทำให้ทราบว่าอะตอมประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน อยู่รวมกันในนิวเคลียส โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ และอยู่ในระดับพลังงานต่างกัน อิเล็กตรอน เหล่านั้นอยู่กันอย่างไรและในแต่ละระดับพลังงานจะมีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดเท่าใด ให้นักเรียน พิจารณาข้อมูลแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุบางธาตุดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุบางธาตุ

ธาตุ	เลขอะตอม	จำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน		
		$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
H	1	1		
He	2	2		
Li	3	2	1	
Be	4	2	2	
B	5	2	3	

ธาตุ	เลขอะตอม	จำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน		
		$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
C	6	2	4	
N	7	2	5	
O	8	2	6	
F	9	2	7	
Ne	10	2	8	
Na	11	2	8	1
Mg	12	2	8	2
Al	13	2	8	3
Si	14	2	8	4
P	15	2	8	5
S	16	2	8	6
Cl	17	2	8	7
Ar	18	2	8	8

เมื่อพิจารณาข้อมูลในตาราง 2.5 จะพบว่าจำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่ 1 มีได้มากที่สุด 2 อิเล็กตรอน ระดับพลังงานที่ 2 มีได้มากที่สุด 8 อิเล็กตรอน สำหรับระดับพลังงานที่ 3 นั้นจากการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมทำให้ทราบว่า มีได้มากที่สุด 18 อิเล็กตรอน นั่นคือ จำนวนอิเล็กตรอนมากที่สุดที่มีได้ในแต่ละระดับพลังงานจะมีค่าเท่ากับ $2n^2$ เมื่อ n คือ ตัวเลขแสดงระดับพลังงาน

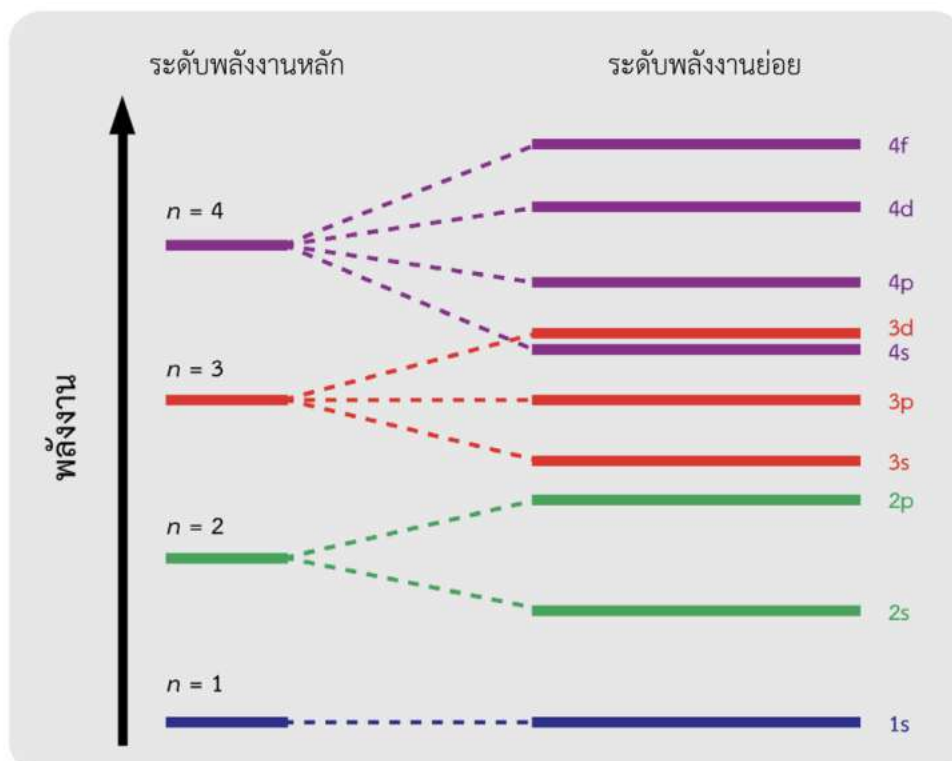
ถ้าพิจารณาตามหลัก $2n^2$ การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุ K และ Ca ควรเป็น 2 8 9 และ 2 8 10 ตามลำดับ เนื่องจากในระดับพลังงานที่ 3 ควรมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดถึง 18 อิเล็กตรอน แต่จากการศึกษาพบว่า การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุ K และ Ca เป็น 2 8 8 1 และ 2 8 8 2 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่ 3 ของทั้งสองธาตุนี้มีเพียง 8 อิเล็กตรอน และอิเล็กตรอนที่เพิ่มมาอีก 1 และ 2 อิเล็กตรอนนั้นเข้าไปอยู่ในระดับพลังงานที่ 4 ทำให้ระดับพลังงานที่ 3 มีอิเล็กตรอนไม่ครบ 18 ข้อมูลดังกล่าวนี้จะได้ศึกษาต่อไป

2.3.2 ระดับพลังงานหลัก และระดับพลังงานย่อย

นักเรียนทราบมาแล้วว่าโบร์เสนอแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนซึ่งแสดงให้เห็นว่าอะตอมของไฮโดรเจนมีพลังงานหลายระดับและความแตกต่างระหว่างพลังงานของแต่ละระดับที่อยู่ถัดไปก็ไม่เท่ากัน โดยความแตกต่างของพลังงานจะมีค่าน้อยลง เมื่อมีระดับพลังงานสูงขึ้น

การอธิบายเกี่ยวกับเส้นสเปกตรัมของโบร์ได้จุดประกายให้นักวิทยาศาสตร์หลายคนเกิดความสนใจและศึกษาเกี่ยวกับเส้นสเปกตรัมมากขึ้น และพบว่าเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนที่เปล่งแสงออกมาและมองเห็นเป็น 1 เส้นนั้นแท้จริงแล้วประกอบด้วยเส้นสเปกตรัมมากกว่า 1 เส้น ซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้น นอกจากเป็นการคายพลังงานของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานหลัก (principle energy level หรือ shell) ซึ่งแทนด้วย n แล้ว ยังเป็นการคายพลังงานของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานย่อย (energy sublevel หรือ subshell) ของแต่ละระดับพลังงานหลักอีกด้วย

นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดระดับพลังงานย่อยเป็นตัวอักษร s p d และ f ตามลำดับ แนวคิดดังกล่าวนี้สามารถนำมาอธิบายสเปกตรัมของธาตุที่มีมากกว่า 1 อิเล็กตรอนได้ และจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าจำนวนระดับพลังงานย่อยที่เป็นไปได้ในแต่ละระดับพลังงานหลักที่ 1 – 4 เป็นดังนี้



รูป 2.15 แผนภาพระดับพลังงานของอะตอมที่มีหลายอิเล็กตรอน

จากรูป 2.15 สามารถสรุปได้ว่า

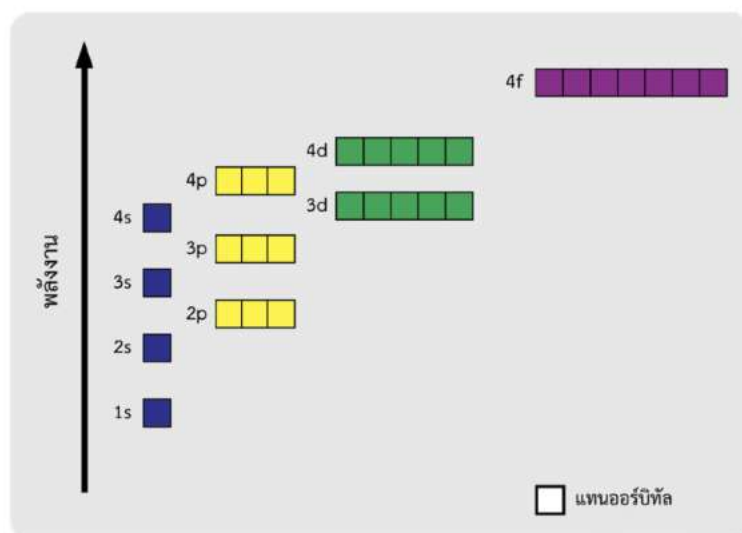
- ระดับพลังงานหลักที่ 1 ($n = 1$) มี 1 ระดับพลังงานย่อยคือ s
- ระดับพลังงานหลักที่ 2 ($n = 2$) มี 2 ระดับพลังงานย่อยคือ s p
- ระดับพลังงานหลักที่ 3 ($n = 3$) มี 3 ระดับพลังงานย่อยคือ s p d
- ระดับพลังงานหลักที่ 4 ($n = 4$) มี 4 ระดับพลังงานย่อยคือ s p d f

2.3.3 ออร์บิทัล

เนื่องจากอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจึงอยู่ในรูปของโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนซึ่งมีอาณาเขตและรูปร่างใน 3 มิติแตกต่างกัน บริเวณรอบนิวเคลียสซึ่งมีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนและมีพลังงานเฉพาะนี้เรียกว่าออร์บิทัล (orbital) จากการศึกษาพบว่าจำนวนออร์บิทัลในแต่ละระดับพลังงานย่อยมีค่าแตกต่างกันซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ระดับพลังงานย่อย s มี 1 ออร์บิทัล
- ระดับพลังงานย่อย p มี 3 ออร์บิทัล
- ระดับพลังงานย่อย d มี 5 ออร์บิทัล
- ระดับพลังงานย่อย f มี 7 ออร์บิทัล

จากรูป 2.15 ถ้าเขียนเป็นแผนผังโดยพิจารณาออร์บิทัลของแต่ละระดับพลังงานย่อยอาจเขียนแสดงได้ดังรูป 2.16



รูป 2.16 แผนภาพระดับพลังงานที่แสดงจำนวนออร์บิทัล

หมายเหตุ สามารถใช้สัญลักษณ์อย่างอื่นแทนออร์บิทัลได้ เช่น ○ —

จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในออร์บิทัลที่อยู่ในระดับพลังงานย่อย s p d และ f สามารถพิจารณาจากข้อมูลในตาราง 2.6

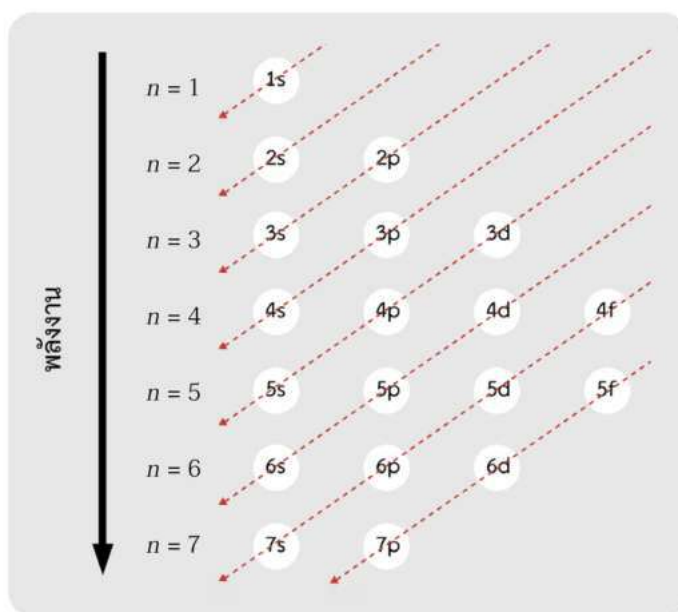
ตาราง 2.6 จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในระดับพลังงานย่อยและระดับพลังงานหลัก

ระดับพลังงานหลัก	ระดับพลังงานย่อย	จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในระดับพลังงานย่อย	จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในระดับพลังงานหลัก
$n = 1$	s	2	2
$n = 2$	s	2	8
	p	6	
$n = 3$	s	2	18
	p	6	
	d	10	
$n = 4$	s	2	32
	p	6	
	d	10	
	f	14	

จากตาราง 2.6 จะเห็นว่าจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในระดับพลังงานย่อย s p d และ f มีค่าเท่ากับ 2 6 10 และ 14 ตามลำดับ แต่เนื่องจากพลังงานย่อย s p d และ f มี 1 3 5 และ 7 ออร์บิทัลตามลำดับ แสดงว่า 1 ออร์บิทัลสามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้ 2 อิเล็กตรอน

2.3.4 หลักการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

การจัดเรียงอิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่ง ๆ ให้พิจารณาตาม **หลักอาฟบาว** (Aufbau principle) ซึ่งเกี่ยวข้องกับลำดับพลังงานของแต่ละออร์บิทัล กล่าวคือการบรรจุอิเล็กตรอนต้องบรรจุในออร์บิทัลที่มีพลังงานต่ำสุดและว่างอยู่ก่อนเสมอ ดังรูป 2.17 นั่นคือเริ่มจาก 1s 2s 2p 3s ... ตามลำดับ เพราะจะทำให้พลังงานรวมทั้งหมดมีค่าต่ำที่สุดและอะตอมมีความเสถียรที่สุด

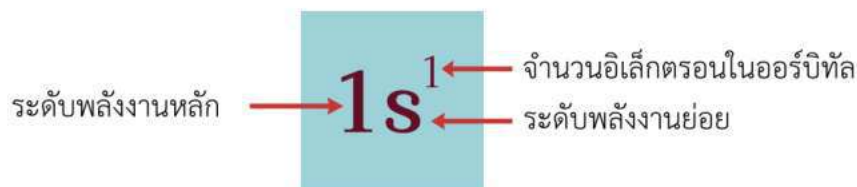


รูป 2.17 แผนภาพแสดงลำดับการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัลต่าง ๆ

จากแผนภาพสามารถเรียงลำดับพลังงานได้ดังนี้

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d 7p ...

ไฮโดรเจนอะตอมซึ่งมี 1 อิเล็กตรอน สามารถเขียนสัญลักษณ์แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนได้เป็น $1s^1$ โดยมีความหมายดังนี้



รูป 2.18 สัญลักษณ์แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนอะตอม

สำหรับธาตุ He Li Be B C N O F Ne Na และ Mg ซึ่งมีอิเล็กตรอน 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 และ 12 ตามลำดับ สามารถเขียนสัญลักษณ์แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบเต็มและแบบย่อโดยเขียนแก๊สมีสกุลในวงเล็บแทนการจัดเรียงอิเล็กตรอนของแก๊สมีสกุลในชั้นถัดเข้ามา และแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนเฉพาะชั้นนอกสุด ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุบางธาตุ

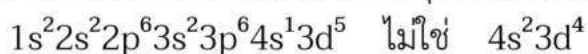
ธาตุ	จำนวนอิเล็กตรอน	การจัดเรียงอิเล็กตรอน
He	2	$1s^2$
Li	3	$1s^2 2s^1$ หรือ $[\text{He}]2s^1$
Be	4	$1s^2 2s^2$ หรือ $[\text{He}]2s^2$
B	5	$1s^2 2s^2 2p^1$ หรือ $[\text{He}]2s^2 2p^1$
C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$ หรือ $[\text{He}]2s^2 2p^2$
N	7	$1s^2 2s^2 2p^3$ หรือ $[\text{He}]2s^2 2p^3$
O	8	$1s^2 2s^2 2p^4$ หรือ $[\text{He}]2s^2 2p^4$
F	9	$1s^2 2s^2 2p^5$ หรือ $[\text{He}]2s^2 2p^5$
Ne	10	$1s^2 2s^2 2p^6$ หรือ $[\text{He}]2s^2 2p^6$
Na	11	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ หรือ $[\text{Ne}]3s^1$
Mg	12	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ หรือ $[\text{Ne}]3s^2$

หมายเหตุ $[\text{He}]$ แทนการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุฮีเลียม คือ $1s^2$

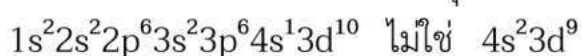
$[\text{Ne}]$ แทนการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุนีออน คือ $1s^2 2s^2 2p^6$

อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานหลักสูงสุดหรือชั้นนอกสุดของอะตอมเรียกว่า **เวเลนซ์อิเล็กตรอน** (valence electron) เช่น ธาตุเบริลเลียมมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2$ จึงมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 ส่วนฟลูออรีนมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^5$ จึงมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7

การบรรจุอิเล็กตรอนตามลำดับระดับพลังงานโดยอาศัยแผนภาพตามหลักอาฟบาวดังที่กล่าวมาแล้ว มีบางธาตุที่การบรรจุอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยไม่เป็นไปตามหลักการนั้น เช่น ธาตุ Cr เลขอะตอม 24 แสดงการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัลต่าง ๆ ได้ ดังนี้

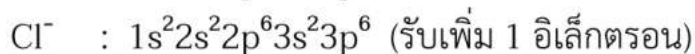
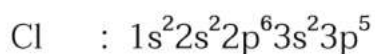
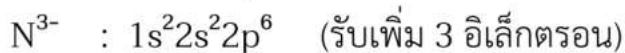
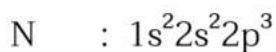


ธาตุ Cu มีเลขอะตอม 29 แสดงการบรรจุอิเล็กตรอนในออร์บิทัลต่าง ๆ ได้ดังนี้

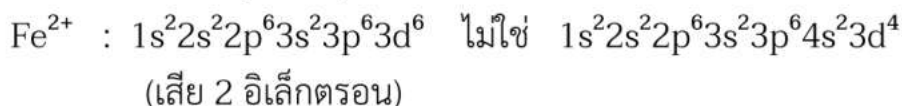
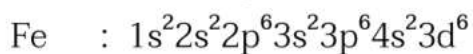
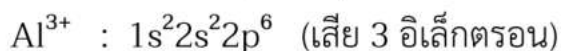
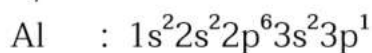


ธาตุที่ได้รับหรือเสียอิเล็กตรอนสามารถเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนได้ดังนี้

1. กรณีที่ธาตุได้รับอิเล็กตรอน ให้บรรจุอิเล็กตรอนปกติรวมกับอิเล็กตรอนที่รับเข้ามาตามลำดับระดับพลังงานโดยอาศัยแผนภาพตามหลักออฟบาว เช่น



2. กรณีที่ธาตุเสียอิเล็กตรอน ให้บรรจุอิเล็กตรอนตามปกติก่อน จากนั้นจึงนำอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกสุดออก เช่น



แบบฝึกหัด 2.3

- ธาตุวาเนเดียมและแคดเมียมมีเลขอะตอม 23 และ 48 ตามลำดับ จงแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยและจำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักของธาตุทั้งสอง
- ธาตุ A B และ C มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนดังนี้
 ธาตุ A จัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
 ธาตุ B จัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
 ธาตุ C จัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
 - ธาตุ A B C มีเลขอะตอมเท่าใด
 - ธาตุแต่ละชนิดมีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานใดบ้าง และมีจำนวนเท่าใด
- จงระบุสัญลักษณ์ของธาตุที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนดังต่อไปนี้
 - $[\text{Ar}]4s^2 3d^{10} 4p^2$
 - $[\text{Ne}]3s^2 3p^3$
 - $[\text{Kr}]5s^2 4d^5$
- จงเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยของ Zn^{2+} Cu^+ และ S^{2-}

2.4 ตารางธาตุและสมบัติของธาตุหมู่หลัก

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบธาตุแล้วเป็นจำนวนมาก ธาตุเหล่านั้นอาจมีสมบัติบางประการคล้ายกันและบางประการแตกต่างกัน จึงยากที่จะจดจำสมบัติต่าง ๆ ของแต่ละธาตุได้ทั้งหมด นักวิทยาศาสตร์จึงหาเกณฑ์ในการจัดธาตุที่มีสมบัติคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันเพื่อง่ายต่อการศึกษานักเรียนคิดว่าสมบัติใดของธาตุที่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่มธาตุ

2.4.1 วิวัฒนาการของการสร้างตารางธาตุ

เมื่อมีการค้นพบธาตุและศึกษาสมบัติของธาตุต่าง ๆ เหล่านี้แล้ว นักวิทยาศาสตร์ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ของธาตุและนำมาใช้จัดธาตุเป็นกลุ่มได้หลายแบบ ในปี พ.ศ. 2360 โยฮันน์ โวล์ฟกัง เดอเบอไรเนอร์ (Johann Wolfgang Dobereiner) เป็นนักเคมีคนแรกที่พยายามจัดธาตุเป็นกลุ่ม ๆ ละ 3 ธาตุตามสมบัติที่คล้ายคลึงกันเรียกว่า **ชุดสาม** (triads) โดยพบว่าธาตุกลางจะมีมวลอะตอมเป็นค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมของอีกสองธาตุที่เหลือ เช่น Na มีมวลอะตอม 23.0 และเป็นธาตุกลางระหว่าง Li กับ K ซึ่งมีมวลอะตอม 6.9 และ 39.1 ตามลำดับ ตัวอย่างการจัดธาตุแบบชุดสามแสดงได้ดังตาราง 2.8 แต่เมื่อนำหลักของชุดสามไปใช้กับธาตุกลุ่มอื่นที่มีสมบัติคล้ายกัน พบว่าค่ามวลอะตอมของธาตุกลางไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมของสองธาตุที่เหลือ หลักชุดสามของเดอเบอไรเนอร์จึงไม่เป็นที่ยอมรับในเวลาต่อมา



รู้หรือไม่

มวลอะตอมเป็นมวลของธาตุ 1 อะตอม ซึ่งเป็นผลรวมของมวลโปรตรอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

ตาราง 2.8 การจัดธาตุแบบชุดสามตามแนวคิดของเดอเบอไรเนอร์

ธาตุที่ 1 (มวลอะตอม)	ธาตุที่ 2 มวลอะตอมจริง มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุที่ 1 และ 3	ธาตุที่ 3 (มวลอะตอม)
Li 6.9	Na 23.0 23.0	K 39.1
C 12.0	N 14.0 14.0	O 16.0
Ca 40.1	Sr 87.6 88.7	Ba 137.3
Cl 35.5	Br 79.9 81.2	I 126.9
S 32.1	Se 79.0 79.9	Te 127.6

ในปี พ.ศ. 2407 จอห์น นิวแลนด์ (John Newlands) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้เสนอกฎในการจัดธาตุเป็นหมวดหมู่ว่า ถ้าเรียงธาตุตามมวลอะตอมจากน้อยไปมาก พบว่าธาตุที่ 8 จะมีสมบัติเหมือนกับธาตุที่ 1 เสมอ (ไม่รวมธาตุไฮโดรเจนและแก๊สมีสกุล) เช่น เริ่มต้นเรียงโดยใช้ธาตุ Li เป็นธาตุที่ 1 ธาตุที่ 8 จะเป็น Na ซึ่งมีสมบัติคล้ายธาตุ Li ดังตัวอย่างการจัดต่อไปนี้

Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca					

การจัดเรียงธาตุตามแนวคิดของนิวแลนด์ใช้ได้ถึงธาตุแคลเซียมเท่านั้น กฎนี้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเพราะเหตุใดมวลอะตอมจึงเกี่ยวข้องกับสมบัติที่คล้ายคลึงกันของธาตุ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับในเวลาต่อมา

ในปี พ.ศ. 2412 ยูลิอุส โลทาร์ ไมเออร์ (Julius Lothar Meyer) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน และดิมิทรี เมนเดเลเอฟ (Dmitri Mendeleev) นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ได้ศึกษารายละเอียดของธาตุต่าง ๆ มากขึ้นทำให้มีข้อสังเกตว่า ถ้าเรียงธาตุตามมวลอะตอมจากน้อยไปมาก จะพบว่าธาตุมีสมบัติคล้ายกันเป็นช่วง ๆ การที่ธาตุต่าง ๆ มีสมบัติคล้ายกันเป็นช่วงเช่นนี้ เมนเดเลเอฟตั้งเป็นกฎเรียกว่า **กฎพีริออดิก** (periodic law) การจัดธาตุเป็นหมวดหมู่ของเมนเดเลเอฟไม่ได้ยึดการเรียงลำดับตามมวลอะตอมจากน้อยไปมากเพียงอย่างเดียว แต่ได้นำสมบัติที่คล้ายคลึงกันของธาตุที่ปรากฏซ้ำกันเป็นช่วง ๆ มาพิจารณาด้วย นอกจากนี้ยังได้เว้นช่องว่างไว้โดยคิดว่าน่าจะเป็นตำแหน่งของธาตุที่ยังไม่ได้มีการค้นพบ โดยที่ตำแหน่งของธาตุในตารางธาตุมีความสัมพันธ์กับสมบัติของธาตุ เมนเดเลเอฟจึงได้ทำนายสมบัติของธาตุที่ยังไม่ได้มีการค้นพบ 3 ธาตุ ให้ชื่อว่า เอคา-โบรอน เอคา-อะลูมิเนียม และเอคา-ซิลิคอน ในเวลาต่อมาก็ได้ค้นพบธาตุสแกนเดียม แกลเลียม และเจอร์เมเนียม ตามลำดับ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับที่ได้ทำนายไว้ ตัวอย่างธาตุเอคา-ซิลิคอน ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับธาตุเจอร์เมเนียม เป็นดังนี้

ตาราง 2.9 เปรียบเทียบสมบัติของเอคา-ซิลิคอนกับเจอร์เมเนียม

สมบัติ	เอคา-ซิลิคอน (Es) ทำนายเมื่อ พ.ศ. 2414	เจอร์เมเนียม (Ge) ค้นพบเมื่อ พ.ศ. 2429
มวลอะตอม	72	72.6
ความหนาแน่น (g/mL)	5.5	5.47
สี	เทาเข้ม	เทาขาว
ความหนาแน่นของออกไซด์ (g/mL)	$\text{EsO}_2 = 4.7$	$\text{GeO}_2 = 4.70$
ความหนาแน่นของคลอไรด์ (g/mL)	$\text{EsCl}_4 = 1.9$	$\text{GeCl}_4 = 1.89$

อย่างไรก็ตามเมนเดเลเอฟไม่สามารถอธิบายได้ว่า เพราะเหตุใดจึงต้องจัดเรียงธาตุตามมวลอะตอม เนื่องจากสมัยนั้นนักวิทยาศาสตร์ยังศึกษาโครงสร้างของอะตอมและไอโซโทปได้ไม่ชัดเจน นักวิทยาศาสตร์รุ่นต่อมาเกิดแนวความคิดว่า ตำแหน่งของธาตุในตารางธาตุไม่น่าจะขึ้นอยู่กับมวลอะตอมของธาตุ แต่น่าจะขึ้นอยู่กับสมบัติอื่นที่มีความสัมพันธ์กับมวลอะตอม ในปี พ.ศ. 2456 เฮนรี โมสลีย์ (Henry Moseley) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้เสนอให้จัดธาตุเรียงตามเลขอะตอม เนื่องจากสมบัติต่าง ๆ ของธาตุมีความสัมพันธ์กับประจุบวกในนิวเคลียสหรือเลขอะตอมมากกว่ามวลอะตอม ตารางธาตุในปัจจุบันจึงปรับปรุงมาจากตารางธาตุของเมนเดเลเอฟแต่เรียงธาตุตามเลขอะตอมจากน้อยไปมาก

ในหนังสือเรียนนี้จะแสดงเลขหมู่ของตารางธาตุ 2 ระบบที่ต่างกัน ได้แก่ ระบบที่กำหนดหมู่ธาตุด้วยเลขโรมันและกำกับด้วยตัวอักษร A และ B กับระบบที่กำหนดโดยสหภาพเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์ระหว่างประเทศ (International Union of Pure and Applied Chemistry , IUPAC) ซึ่งกำหนดหมู่ของธาตุด้วยตัวเลขอารบิกทั้งหมด ตั้งแต่หมู่ที่ 1 ถึง 18 ดังรูป 2.19

1 IA																	18 VIIIA
1 H hydrogen 1.01	2 IIA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	2 He helium 4.00
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.01											5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.01	8 O oxygen 16.00	9 F fluorine 17.00	10 Ne neon 20.18
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 Al aluminum 26.98	14 Si silicon 28.08	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.95
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.97	35 Br bromine 79.90	36 Kr krypton 83.80
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids *	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.20	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids **	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganeson

กลุ่มธาตุ *แลนทานอยด์	57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
กลุ่มธาตุ **แอกทิโนอยด์	89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium

รูป 2.19 ตารางธาตุในปัจจุบัน

ตารางธาตุดังรูป 2.19 แบ่งธาตุในแนวตั้งเป็น 18 แถว โดยเรียกแถวในแนวตั้งว่า หมู่ (group) และแบ่งธาตุในแนวนอนเป็น 7 แถว เรียกแถวในแนวนอนว่า คาบ (period) ซึ่งแต่ละคาบจัดเรียงธาตุตามเลขอะตอมที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จำนวนธาตุในแต่ละคาบเป็นดังนี้ คาบที่ 1 มี 2 ธาตุ

คาบที่ 2 และ 3 มีคาบละ 8 ธาตุ คาบที่ 4 และ 5 มีคาบละ 18 ธาตุ คาบที่ 6 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมี 17 ธาตุ คือ Cs ถึง Rn กลุ่มที่สองมี 15 ธาตุ คือ La ถึง Lu คาบที่ 7 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม เช่นเดียวกัน โดยกลุ่มแรกมี 17 ธาตุ คือ Fr ถึง Og กลุ่มที่สองมี 15 ธาตุ คือ Ac ถึง Lr

2.4.2 กลุ่มของธาตุในตารางธาตุ

การที่นักวิทยาศาสตร์จัดธาตุในตารางธาตุเป็นหมู่และคาบเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาสมบัติของธาตุต่าง ๆ ถ้าแบ่งกลุ่มธาตุตามสมบัติความเป็นโลหะจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ **ธาตุโลหะ (metal)** เป็นธาตุที่นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี **ธาตุกึ่งโลหะ (metalloid)** เป็นธาตุที่นำไฟฟ้าได้ไม่ดีที่อุณหภูมิห้องแต่จะนำได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และ **ธาตุอโลหะ (nonmetal)** ซึ่งไม่นำไฟฟ้า ยกเว้น คาร์บอน (แกรไฟต์) และ ฟอสฟอรัสดำ เมื่อพิจารณาตำแหน่งของธาตุในตารางธาตุตามรูป 2.19 พบว่า ธาตุโลหะอยู่ทางด้านซ้ายมือของตารางธาตุ (สีเขียว) ธาตุกึ่งโลหะจะอยู่บริเวณที่เป็นขั้นบันได (สีชมพู) และธาตุอโลหะจะอยู่ขวามือของตารางธาตุ (สีฟ้า) ยกเว้นไฮโดรเจนอยู่ทางด้านซ้ายมือของตารางธาตุ

ถ้าแบ่งกลุ่มธาตุในตารางธาตุโดยพิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัล s p d และ f ที่มีพลังงานสูงสุดและมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ จะแบ่งธาตุได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ ธาตุกลุ่ม s ได้แก่ ธาตุในหมู่ 1 และ 2 ธาตุกลุ่ม p ได้แก่ ธาตุในหมู่ 13 ถึง 18 (ยกเว้น He) ธาตุกลุ่ม d ได้แก่ ธาตุในหมู่ 3 ถึง 12 ส่วนธาตุในกลุ่ม f ได้แก่ กลุ่มธาตุที่อยู่ด้านล่างของตารางธาตุที่แยกมาจากหมู่ 3 คาบที่ 6 และ 7 ดังรูป 2.20

1 IA																	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA											
1 H hydrogen 1.00	2 IIA																			2 He helium 4.00													
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.01																			5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.01	8 O oxygen 16.00	9 F fluorine 18.99	10 Ne neon 20.18								
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB									13 Al aluminium 26.98	14 Si silicon 28.08	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.95								
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.95	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 51.99	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.84	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.546(2)	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.97	35 Br bromine 79.90	36 Kr krypton 83.80																
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.94	43 Tc technetium 98.00	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29																
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids		72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.20	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon															
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids		104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson															
																			97 La lanthanum 138.91	98 Ce cerium 140.12	99 Pr praseodymium 140.91	100 Nd neodymium 144.24	101 Pm promethium	102 Sm samarium 150.36	103 Eu europium 151.96	104 Gd gadolinium	105 Tb terbium 158.93	106 Dy dysprosium 162.50	107 Ho holmium 164.93	108 Er erbium 167.26	109 Tm thulium 168.93	110 Yb ytterbium 173.05	111 Lu lutetium 174.97
																			119 Ac actinium	120 Th thorium 232.04	121 Pa protactinium 231.04	122 U uranium 238.03	123 Np neptunium	124 Pu plutonium	125 Am americium	126 Cm curium	127 Bk berkelium	128 Cf californium	129 Es einsteinium	130 Fm fermium	131 Md mendelevium	132 No nobelium	133 Lr lawrencium

รูป 2.20 ตำแหน่งของธาตุตามระดับพลังงานย่อย

ธาตุกลุ่ม s และกลุ่ม p เรียกรวมกันว่า ธาตุกลุ่ม A ซึ่งเป็นกลุ่มของธาตุเรพรีเซนเททีฟ (representative element) หรืออาจเรียกว่ากลุ่มธาตุหมู่หลัก (main group element) เมื่อพิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุกลุ่ม A พบว่าธาตุในแนวตั้งที่อยู่ในกลุ่ม A จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากันและจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะตรงกับเลขหมู่ สำหรับธาตุตามแนวนอนที่อยู่ในคาบเดียวกัน พบว่ามีจำนวนระดับพลังงานเท่ากัน และจำนวนระดับพลังงานจะตรงกับเลขที่คาบ เช่น ธาตุ Na มีเลขอะตอมเท่ากับ 11 จัดอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ซึ่งมีจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละระดับพลังงานเป็น 2 8 1 ดังนั้น Na จึงอยู่ในหมู่ IA เพราะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 และอยู่ในคาบที่ 3 เพราะมีจำนวนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเท่ากับ 3

ธาตุ Br มีเลขอะตอม 35 จัดอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^5$ จึงมีจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละระดับพลังงานเป็น 2 8 18 7 ดังนั้น Br จึงอยู่ในหมู่ VIIA เพราะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 และอยู่ในคาบที่ 4 เพราะมีจำนวนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเท่ากับ 4

ธาตุบางหมู่มีการกำหนดชื่อที่เป็นสากล เช่น หมู่ IA (1) มีชื่อเรียกว่า โลหะแอลคาไล (alkali metal) ธาตุหมู่ IIA (2) เรียกว่า โลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth metal) ธาตุหมู่ VIIA (17) เรียกว่า ธาตุแฮโลเจน (halogen) และหมู่ VIIIA (18) (ยกเว้น Og) เรียกว่า แก๊สมีสกุล (noble gas)

ธาตุกลุ่ม d และ f เรียกรวมกันว่าธาตุกลุ่ม B หรือ กลุ่มธาตุแทรนซิชัน (transition element) ซึ่งแบ่งเป็น ธาตุแทรนซิชันชั้นนอก (outer transition) ได้แก่ธาตุกลุ่ม d และ ธาตุแทรนซิชันชั้นใน (inner transition) ได้แก่ธาตุกลุ่ม f โดยธาตุกลุ่ม f ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มแรกอยู่ในคาบที่ 6 และมีเลขอะตอมตั้งแต่ 57–71 (La–Lu) เรียกกลุ่มนี้ว่ากลุ่มธาตุแลนทานอยด์ (lanthanoid) กลุ่มที่สองอยู่ในคาบที่ 7 และมีเลขอะตอมตั้งแต่ 89–103 (Ac–Lr) เรียกกลุ่มนี้ว่ากลุ่มธาตุแอคทิโนอยด์ (actinoid) เมื่อพิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุแทรนซิชัน พบว่าจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนส่วนใหญ่เท่ากับ 2 เมื่อพิจารณาธาตุกลุ่มนี้ตามแนวนอนพบว่าจำนวนระดับพลังงานจะตรงกับเลขที่คาบเช่นเดียวกับธาตุในกลุ่มธาตุหมู่หลัก

จากการศึกษาการจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ ช่วยให้ทราบว่าตารางธาตุในปัจจุบันจัดธาตุเป็นหมู่และคาบโดยอาศัยสมบัติบางประการที่คล้ายกัน สมบัติของธาตุหมู่หลักตามหมู่และตามคาบซึ่งได้แก่ ขนาดอะตอม รัศมีไอออน พลังงานไอออไนเซชัน อิเล็กโตรเนกาติวิตี สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน มีแนวโน้มเป็นดังนี้

2.4.3 ขนาดอะตอม

ตามแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก อิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ตลอดเวลาด้วยความเร็วสูงและไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนรวมทั้งไม่สามารถกำหนดขอบเขตที่แน่นอนของอิเล็กตรอนได้ นอกจากนี้อะตอมโดยทั่วไปไม่อยู่เป็นอะตอมเดี่ยวแต่จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมไว้ด้วยกัน จึงเป็นเรื่องยากที่จะวัดขนาดอะตอม (atomic radius) ที่อยู่ในภาวะอิสระหรือ

เป็นอะตอมเดียว ในทางปฏิบัติจึงบอกขนาดอะตอมด้วย **รัศมีอะตอม** (atomic radius) ซึ่งกำหนดให้ มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอมทั้งสองที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม ไวด้วยกันหรือที่อยู่ชิดกัน

การศึกษารัศมีอะตอมของธาตุทำให้ทราบขนาดอะตอมของธาตุและสามารถเปรียบเทียบ ขนาดอะตอมของธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันหรือหมู่เดียวกันได้ ตัวอย่างรัศมีอะตอมของธาตุในตาราง ธาตุซึ่งได้จากการคำนวณ แสดงดังรูป 2.21

IA							VIIIA
H 37							He 31
Li 152	Be 112	B 85	C 77	N 75	O 73	F 72	Ne 70
Na 186	Mg 160	Al 143	Si 118	P 110	S 103	Cl 99	Ar 98
K 227	Ca 197	Ga 135	Ge 123	As 120	Se 117	Br 114	Kr 112
Rb 248	Sr 215	In 166	Sn 140	Sb 141	Te 143	I 133	Xe 131
Cs 265	Ba 222	Tl 171	Pb 175	Bi 155	Po 164	At 142	Rn 140

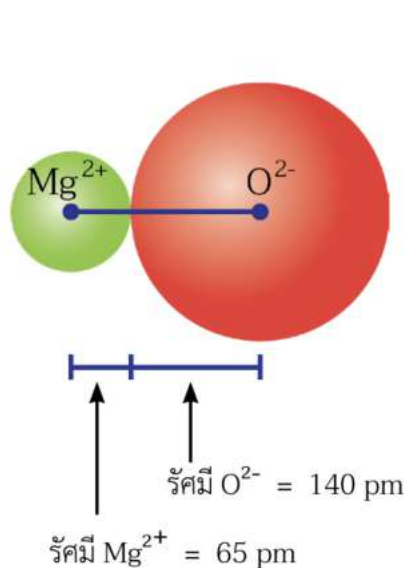
รูป 2.21 รัศมีอะตอม (พิโกเมตร) ของธาตุบางชนิด

เมื่อพิจารณาขนาดอะตอมของธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันพบว่า ขนาดอะตอมมีแนวโน้มลดลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าเนื่องจากธาตุในคาบเดียวกันมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ในระดับ พลังงานเดียวกัน แต่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสแตกต่างกัน ธาตุที่มีจำนวนโปรตอนมากจะดึงดูด เวเลนซ์อิเล็กตรอนด้วยแรงที่มากกว่าธาตุที่มีจำนวนโปรตอนน้อย เวเลนซ์อิเล็กตรอนจึงเข้าใกล้ นิวเคลียสได้มากกว่าทำให้อะตอมมีขนาดเล็กลง

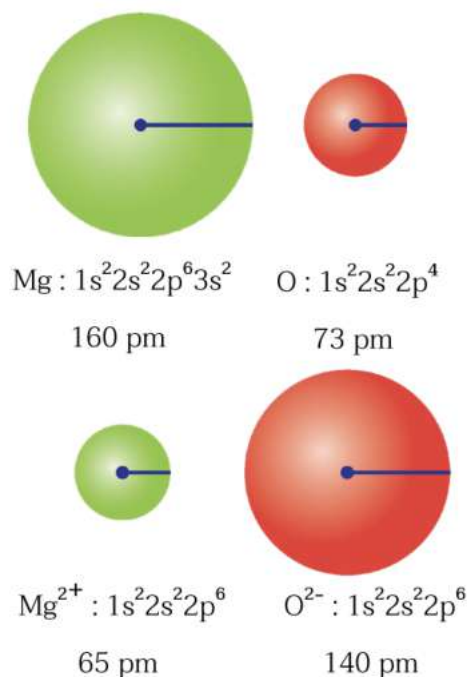
ส่วนธาตุในหมู่เดียวกัน เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้นจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสและจำนวนระดับ พลังงานที่มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นด้วย อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นในจึงเป็นคล้ายฉากกันแรงดึงดูดระหว่าง โปรตอนในนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอน ทำให้แรงดึงดูดต่อเวเลนซ์อิเล็กตรอนมีน้อย เป็นผลให้ ธาตุในหมู่เดียวกันมีขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นตามเลขอะตอม

2.4.4 ขนาดไอออน

อะตอมซึ่งมีจำนวนโปรตอนเท่ากับอิเล็กตรอน เมื่อรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาหรือเสียอิเล็กตรอนออกไปอะตอมจะกลายเป็นไอออน การบอกขนาดของไอออนทำได้เช่นเดียวกับการบอกขนาดอะตอม กล่าวคือจะบอกเป็นค่ารัศมีไอออน (ionic radius) ซึ่งพิจารณาจากระยะระหว่างนิวเคลียสของไอออนคู่หนึ่ง ๆ ที่ยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันในโครงผลึก ตัวอย่างรัศมีไอออนของ Mg^{2+} และ O^{2-} ในสารประกอบ MgO แสดงดังรูป 2.22 และ 2.23



รูป 2.22 รัศมีไอออนของ Mg^{2+} และ O^{2-}



รูป 2.23 เปรียบเทียบขนาดของอะตอมกับไอออน

เมื่อโลหะทำปฏิกิริยากับอโลหะ อะตอมของโลหะจะเสียเวเลนซ์อิเล็กตรอนกลายเป็นไอออนบวก จำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมจึงลดลง ทำให้แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนลดลงด้วย หรือกล่าวอีกนัยก็คือ แรงดึงดูดระหว่างประจุในนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนจะเพิ่มมากขึ้น ไอออนบวกจึงมีขนาดเล็กกว่าอะตอมเดิม ส่วนอะตอมของอโลหะนั้นส่วนใหญ่จะรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาและเกิดเป็นไอออนลบ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนอิเล็กตรอน ขอบเขตของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะขยายออกไปจากเดิม ไอออนลบจึงมีขนาดใหญ่กว่าอะตอมเดิม ตัวอย่างขนาดอะตอมกับขนาดไอออนของธาตุ แสดงดังรูป 2.24

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
Li 152 Li ⁺	Be 112 Be ²⁺	B 85 B ³⁺	C 77	N 75	O 73	F 72
59 Na 186 Na ⁺	31 Mg 160 Mg ²⁺	20 Al 143 Al ³⁺		171 N ³⁻	140 O ²⁻	133 F ⁻
99 K 227 K ⁺	65 Ca 197 Ca ²⁺	50 Ga 135 Ga ³⁺		212 P ³⁻	184 S ²⁻	181 Cl ⁻
138 Rb 248 Rb ⁺	113 Sr 215 Sr ²⁺	62 In 166 In ³⁺		69 As 120 As ³⁺	198 Se ²⁻	196 Br ⁻
148 Cs 265 Cs ⁺	135 Ba 222 Ba ²⁺	81 Tl 171 Tl ³⁺		89 Sb 141 Sb ³⁺	221 Te ²⁻	220 I ⁻
169 Cs ⁺	135 Ba ²⁺	149 Tl ³⁺	132 Pb ²⁺	96 Bi ³⁺		

รูป 2.24 รัศมีอะตอมและรัศมีไอออน (พิโกเมตร) ของธาตุบางชนิด

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของรัศมีอะตอมและรัศมีไอออนตามหมู่ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มมีขนาดเพิ่มขึ้นจากบนลงล่างเช่นเดียวกับขนาดอะตอม รัศมีไอออนบวกจะมีค่าน้อยกว่ารัศมีอะตอม แต่รัศมีไอออนลบจะมีค่ามากกว่ารัศมีอะตอม

2.4.5 พลังงานไอออไนเซชัน

พลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอมในสถานะแก๊สเรียกว่า **พลังงานไอออไนเซชัน** (ionization energy, IE^3) โดยค่า IE แสดงถึงความง่ายในการทำให้อะตอมในสถานะแก๊สกลายเป็นไอออนบวก โดย IE น้อยแสดงว่าทำให้เป็นไอออนบวกได้ง่าย แต่ถ้า IE มากแสดงว่าทำให้เป็นไอออนบวกได้ยาก

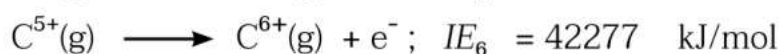
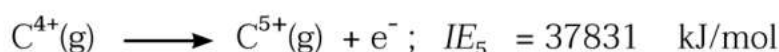
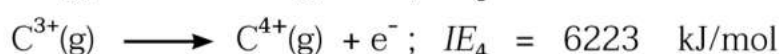
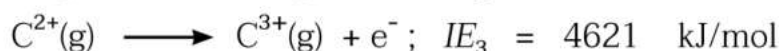
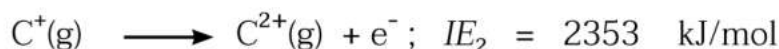
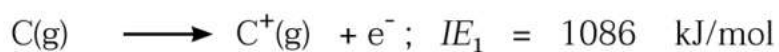
การทำให้ไฮโดรเจนอะตอมในสถานะแก๊สกลายเป็นไฮโดรเจนไอออนในสถานะแก๊สเขียนแสดงได้ดังนี้



การทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมของไฮโดรเจนจะต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุด 1318 กิโลจูลต่อโมล นั่นคือพลังงานไอออไนเซชันของไฮโดรเจนอะตอมเท่ากับ 1318 กิโลจูลต่อโมล ธาตุไฮโดรเจนมี 1 อิเล็กตรอน จึงมีค่าพลังงานไอออไนเซชันเพียงค่าเดียว ถ้าเป็นธาตุที่มีหลายอิเล็กตรอนก็จะมีพลังงานไอออไนเซชันหลายค่า พลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนตัวแรกหลุดออก

³สัญลักษณ์ของพลังงานไอออไนเซชัน IUPAC ใช้เป็น E_i

จากอะตอมที่อยู่ในสถานะแก๊สเรียกว่า **พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่หนึ่ง** (first ionization energy) เขียนย่อเป็น IE_1 พลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอนในลำดับต่อ ๆ มาหลุดออกจากอะตอมเรียกว่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 2 3 ... และเขียนย่อเป็น IE_2 IE_3 ... ตามลำดับ เช่น ธาตุคาร์บอนมี 6 อิเล็กตรอนจึงมีพลังงานไอออไนเซชัน 6 ค่า เขียนแสดงได้ดังต่อไปนี้



ชวนคิด

เพราะเหตุใด IE_4 กับ IE_5 ของธาตุคาร์บอนจึงมีค่าแตกต่างกันมาก

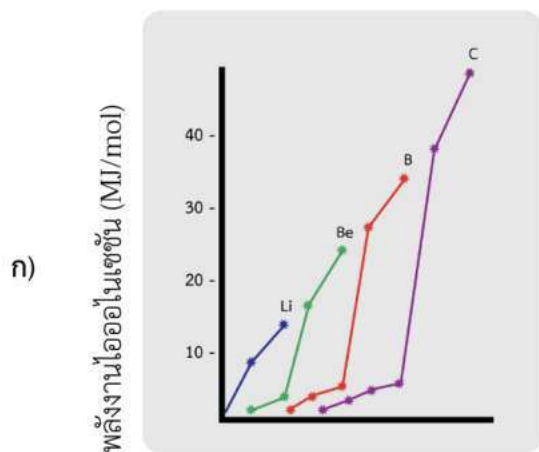
สำหรับพลังงานไอออไนเซชันของธาตุ 20 ธาตุแรกเรียงตามเลขอะตอมแสดงไว้ในตาราง 2.10

ตาราง 2.10 พลังงานไอออไนเซชันของธาตุ 20 ธาตุแรกเรียงตามเลขอะตอม

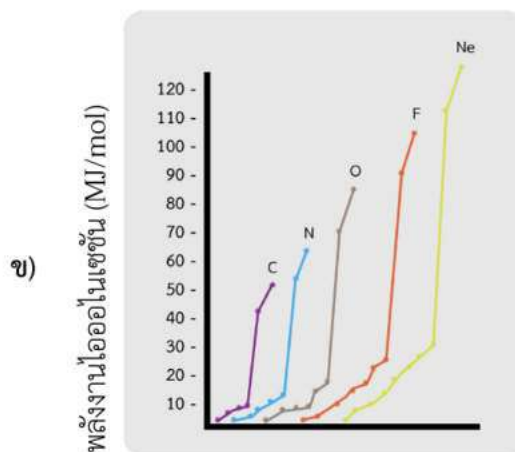
ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน (MJ mol ⁻¹)																			
	IE ₁	IE ₂	IE ₃	IE ₄	IE ₅	IE ₆	IE ₇	IE ₈	IE ₉	IE ₁₀	IE ₁₁	IE ₁₂	IE ₁₃	IE ₁₄	IE ₁₅	IE ₁₆	IE ₁₇	IE ₁₈	IE ₁₉	IE ₂₀
H	1.312																			
He	2.372	5.257																		
Li	0.520	7.305	11.822																	
Be	0.899	1.763	14.855	21.013																
B	0.800	2.433	3.666	25.033	32.834															
C	1.086	2.359	4.627	6.229	37.838	47.285														
N	1.402	2.862	4.585	7.482	9.452	53.274	64.086													
O	1.314	3.395	5.307	7.476	11.996	13.333	71.343	84.086												
F	1.681	3.381	6.057	8.414	11.029	15.171	17.874	92.047	106.443											
Ne	2.080	3.959	6.128	9.376	12.184	15.245	20.006	23.076	115.389	131.442										
Na	0.496	4.569	6.919	9.550	13.356	16.616	20.121	25.497	28.941	141.373	159.086									
Mg	0.738	1.457	7.739	10.574	13.636	18.001	21.710	25.663	31.650	35.469	170.003	189.379								
Al	0.577	1.823	2.751	11.584	14.837	18.384	23.302	27.466	31.905	38.464	42.661	201.283	222.327							
Si	0.786	1.583	3.238	4.362	16.098	19.791	23.793	29.259	33.884	38.740	45.941	50.519	235.218	257.932						
P	1.012	1.909	2.918	4.963	6.280	21.275	25.404	29.861	35.864	40.966	46.280	54.080	59.043	271.813	296.208					
S	0.999	2.257	3.367	4.570	7.019	8.502	27.113	31.676	36.585	43.146	48.712	54.489	62.882	68.238	311.074	337.15				
Cl	1.256	2.303	3.828	5.164	6.548	9.368	11.025	33.612	38.607	43.968	51.074	57.096	63.370	72.348	78.104	353.01	380.77			
Ar	1.520	2.672	3.937	5.777	7.245	8.787	12.002	13.848	40.767	46.194	52.009	59.660	66.207	72.926	82.481	88.6	397.62	427.08		
K	0.419	3.058	4.418	5.883	7.982	9.660	11.349	14.948	16.971	48.583	54.439	60.707	68.902	72.956	83.158	93.4	99.8	444.92	476.08	
Ca	0.590	1.152	4.918	6.480	8.150	10.502	12.330	14.213	18.198	20.391	57.056	63.341	70.061	78.801	86.376	94.0	104.9	111.6	494.91	527.78

หมายเหตุ ตัวเลขทางด้านขวาของขั้นบันได เป็นค่า IE ของการทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกจากอะตอม

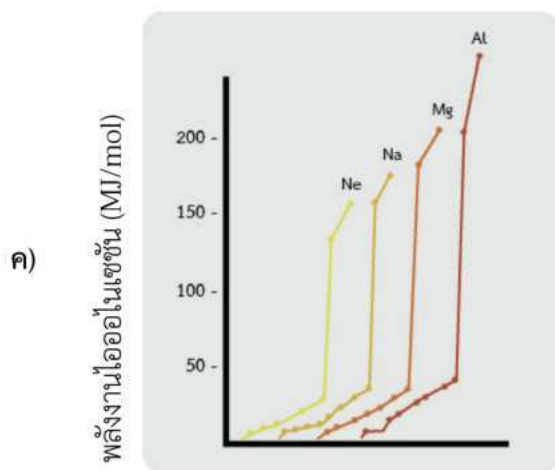
เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไอออไนเซชันลำดับต่าง ๆ ของแต่ละธาตุกับลำดับที่ของพลังงานไอออไนเซชัน โดยให้แกนนอนเป็นลำดับที่ของพลังงานไอออไนเซชันและแกนตั้งเป็นพลังงานไอออไนเซชันจะได้กราฟดังรูป 2.25



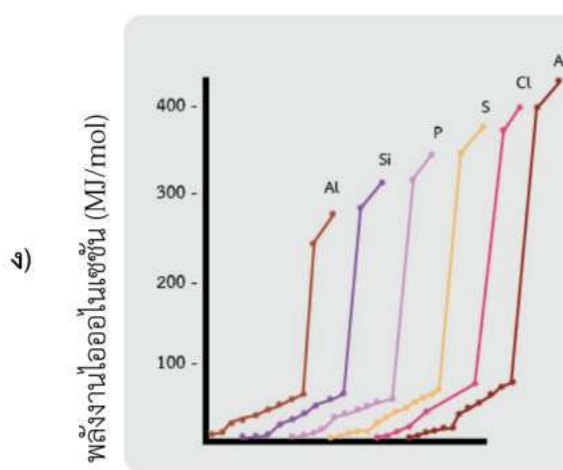
ลำดับที่ของพลังงานไอออไนเซชัน



ลำดับที่ของพลังงานไอออไนเซชัน



ลำดับที่ของพลังงานไอออไนเซชัน



ลำดับที่ของพลังงานไอออไนเซชัน

รูป 2.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง IE กับลำดับ IE ของธาตุบางชนิด

ก) ลำดับ IE ของธาตุ Li Be B C

ข) ลำดับ IE ของธาตุ C N O F Ne

ค) ลำดับ IE ของธาตุ Ne Na Mg Al

ง) ลำดับ IE ของธาตุ Al Si P S Cl Ar

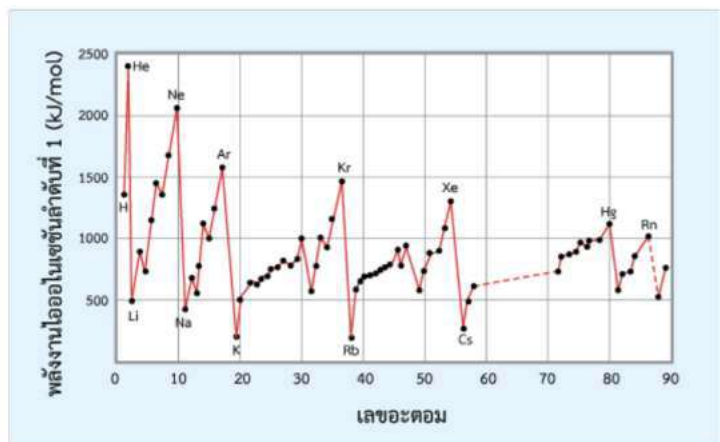


ตรวจสอบความเข้าใจ

นักเรียนคิดว่าค่าพลังงานไอออไนเซชันของธาตุใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดกลุ่มอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียสของแต่ละธาตุได้หรือไม่ อย่างไร

จากกราฟทำให้ทราบว่าอะตอมมีจำนวนระดับพลังงาน และจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละระดับพลังงานของอะตอมเท่าใด ซึ่งสอดคล้องกับตาราง 2.10 การเปรียบเทียบพลังงานไอออไนเซชันของธาตุจะใช้เฉพาะค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ซึ่งเมื่อนำค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุบางธาตุในตารางธาตุมาแสดงจะได้ดังนี้

IA 1							VIIIA 18
H 1312							He 2372
Li 520	Be 899	B 800	C 1086	N 1402	O 1314	F 1681	Ne 2080
Na 496	Mg 738	Al 577	Si 786	P 1012	S 999	Cl 1256	Ar 1520
K 419	Ca 590	Ga 579	Ge 761	As 947	Se 941	Br 1143	Kr 1351
Rb 403	Sr 549	In 558	Sn 708	Sb 834	Te 869	I 1009	Xe 1170
Cs 376	Ba 503	Tl 589	Pb 715	Bi 703	Po 813	At (926)	Rn 1037



รูป 2.26 ค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุบางชนิด

เมื่อพิจารณาพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุตามคาบพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอม เนื่องจากธาตุในคาบเดียวกันมีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสเพิ่มขึ้นและมีขนาดอะตอมเล็กลง แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนจึงเพิ่มมากขึ้น อิเล็กตรอนจึงหลุดออกจากอะตอมได้ยาก

พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุตามหมู่พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะระหว่างนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนลดลงอิเล็กตรอนจึงหลุดจากอะตอมได้ง่ายขึ้น ดังนั้นค่าพลังงานไอออไนเซชันจึงสามารถใช้ในการพิจารณาความง่ายในการเกิดเป็นไอออนบวกของอะตอมธาตุแต่ละชนิด ถ้าพลังงานไอออไนเซชันมีค่าน้อย จะเกิดเป็นไอออนบวกได้ง่าย

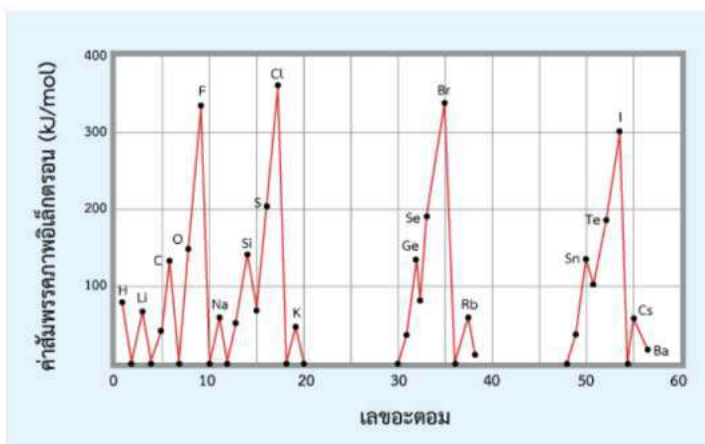
2.4.6 สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน

ความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของอะตอมของธาตุในสถานะแก๊ส พิจารณาได้จากค่า **สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน** (electron affinity, EA^4) ซึ่ง IUPAC ได้กำหนดให้ EA เป็นค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากไอออนลบของธาตุ ตามสมการเคมีดังนี้



ธาตุที่มีค่า EA มากแสดงว่า ต้องใช้พลังงานมากเพื่อทำให้อิเล็กตรอนหลุดออก หรืออาจกล่าวได้ว่าอะตอมของธาตุนั้นมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบได้ดีกว่า ธาตุที่มีค่า EA น้อย เช่น อะตอมธาตุฟลูออรีน (F) ออกซิเจน (O) และฟอสฟอรัส (P) มีค่า EA เป็น 328 kJ/mol, 141 kJ/mol และ 72 kJ/mol ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 2.27 ดังนั้นอะตอม F จึงมีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า O และ P ตามลำดับ ธาตุบางชนิด เช่น ไนโตรเจน (N) และธาตุหมู่ VIIIA มีค่า EA ติดลบ แสดงว่าการหลุดออกของอิเล็กตรอนจากไอออนลบของธาตุเหล่านี้เป็นกระบวนการคายพลังงาน จึงอาจกล่าวได้ว่าอะตอมของธาตุเหล่านี้ไม่ต้องการรับอิเล็กตรอน

IA 1							VIIIA 18
H +72.8							He (0.0)
Li +59.6	Be ≤0	B +26.7	C +122	N -7	O +141	F +328	Ne (-29)
Na +52.9	Mg ≤0	Al +42.5	Si +134	P +72.0	S +200	Cl +359	Ar (-35)
K +48.4	Ca +2.37	Ga +28.9	Ge +119	As +78.2	Se +195	Br +325	Kr (-39)
Rb +46.9	Sr +5.03	In +28.9	Sn +107	Sb +103	Te +190	I +295	Xe (-41)
Cs +45.5	Ba +13.95	Tl +19.3	Pb +35.1	Bi +91.3	Po +183	At +270	Rn (-41)



รูป 2.27 ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของธาตุบางชนิด

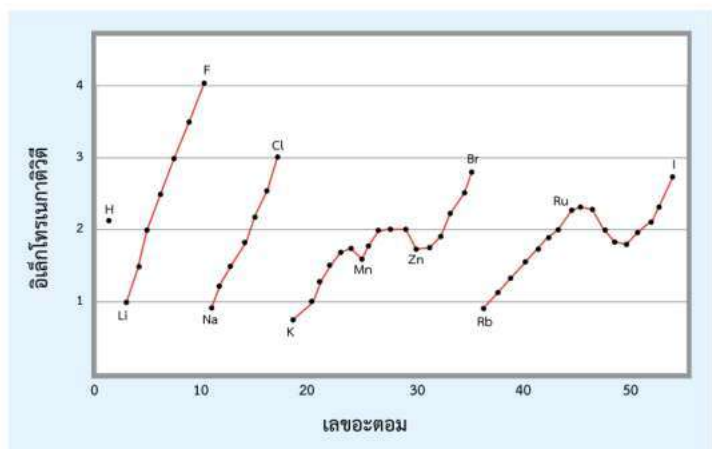
⁴สัญลักษณ์ของสัมพรรคภาพอิเล็กตรอน IUPAC ใช้เป็น E_{ea}

เมื่อพิจารณาตามคาบพบว่า ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของธาตุโลหะ (ยกเว้นธาตุหมู่ VIIIA) มีค่ามากกว่าธาตุโลหะ แสดงว่าธาตุโลหะมีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าธาตุโลหะ เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมทั้งหมดจะพบว่าธาตุหมู่ VIIA มีค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนสูงที่สุดแสดงว่ามีแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าธาตุหมู่อื่น ที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้ว่าการรับ 1 อิเล็กตรอนของธาตุในหมู่นี้จะทำให้อะตอมมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเหมือนธาตุหมู่ VIIIA หรือแก๊สมีสกุลซึ่งมีความเสถียรมาก

2.4.7 อิเล็กโทรเนกาติวิตี

อิเล็กโทรเนกาติวิตี (electronegativity, EN) คือความสามารถของอะตอมในการดึงดูดอิเล็กตรอนคู่ที่เข้าร่วมกันในโมเลกุลของสาร แนวโน้มค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีของธาตุในตารางธาตุเป็นดังรูป 2.28

IA 1							VIIIA 18
1	2	13	14	15	16	17	2
H 2.20							He
3 Li 0.98	4 Be 1.57	5 B 2.04	6 C 2.55	7 N 3.04	8 O 3.44	9 F 3.98	10 Ne
11 Na 0.93	12 Mg 1.31	13 Al 1.61	14 Si 1.90	15 P 2.19	16 S 2.58	17 Cl 3.16	18 Ar
19 K 0.82	20 Ca 1.00	31 Ga 1.81	32 Ge 2.01	33 As 2.18	34 Se 2.55	35 Br 2.96	36 Kr
37 Rb 0.82	38 Sr 0.95	49 In 1.78	50 Sn 1.96	51 Sb 2.05	52 Te 2.10	53 I 2.66	54 Xe
55 Cs 0.79	56 Ba 0.89	81 Tl 2.04	82 Pb 2.33	83 Bi 2.02	84 Po 2.00	85 At 2.20	86 Rn
87 Fr 0.70	88 Ra 0.90						



รูป 2.28 ค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีของธาตุบางชนิด

เมื่อพิจารณาค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีของธาตุในหมู่ IA - VIIA พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอม เนื่องจากในคาบเดียวกันอะตอมของธาตุหมู่ IA มีขนาดใหญ่ที่สุด และหมู่ VIIA มีขนาดเล็กที่สุด ความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนตามคาบจึงเพิ่มขึ้นจากหมู่ IA ไปหมู่ VIIA ดังนั้นในคาบเดียวกันธาตุหมู่ IA จึงมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีต่ำที่สุด ส่วนธาตุหมู่ VIIA มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงที่สุด ธาตุในหมู่เดียวกันมีแนวโน้มของค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีลดลงเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของอะตอมที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้นิวเคลียสดึงดูดอิเล็กตรอนลดลง

จากสมบัติต่าง ๆ ของธาตุในตารางธาตุที่ได้ศึกษามาแล้ว จะพบว่าส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสม่ำเสมอทำให้สามารถทำนายแนวโน้มสมบัติของธาตุในตารางธาตุได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติอื่น ๆ ของธาตุอีกหลายประการซึ่งต้องพิจารณาจากการเกิดสารประกอบ สมบัตินี้ดังกล่าวนั้นจะได้ศึกษารายละเอียดในบทต่อไป



แบบฝึกหัด 2.4

- ธาตุที่กำหนดให้ต่อไปนี้อยู่ในหมู่ใดและคาบใดในตารางธาตุและมีสมบัติเป็นโลหะ กึ่งโลหะ หรืออโลหะ (ตอบคำถามโดยไม่ใช้ตารางธาตุ)
 - ธาตุ A มีเลขอะตอมเท่ากับ 11
 - ธาตุ B มีจำนวนโปรตอนเท่ากับ 20
 - ธาตุ C มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 35
 - ธาตุ D มีเลขมวล 31 และมีจำนวนนิวตรอน 16
 - ธาตุ E มีเลขมวล 72 และมีเลขอะตอม 32
- ธาตุแต่ละคู่ต่อไปนี้ ธาตุใดมีขนาดใหญ่กว่า

2.1 K กับ Ca	2.4 Rb กับ Cs	2.7 N กับ P
2.2 F กับ Na	2.5 Ca กับ Sr	2.8 B กับ C
2.3 Mg กับ Ca	2.6 S กับ C	2.9 Cl กับ O
- ไอออนแต่ละคู่ต่อไปนี้ ไอออนใดมีขนาดใหญ่กว่า

3.1 Mg^{2+} กับ Ca^{2+}	3.3 F^- กับ Na^+
3.2 S^{2-} กับ Cl^-	3.4 Ca^{2+} กับ Al^{3+}
- ธาตุ X Y และ Z เป็นธาตุหมู่ IA IIA และ VIIA ตามลำดับ และอยู่ในคาบเดียวกัน จงเปรียบเทียบสมบัติต่อไปนี้
 - พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1
 - อิเล็กโตรเนกาติวิตี

2.5 ธาตุแทรนซิชัน

นักเรียนได้ศึกษาสมบัติบางประการของธาตุหมู่ A มาแล้ว ต่อไปจะได้ศึกษาธาตุอีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งอยู่ระหว่างธาตุหมู่ IIA และหมู่ IIIA ที่เรียกว่า ธาตุแทรนซิชัน ประกอบด้วยธาตุหมู่ IB ถึงหมู่ VIIB รวมทั้งกลุ่มธาตุแลนทานอยด์กับกลุ่มธาตุแอกทิโนยด์ ดังรูป 2.29

1 IA	2 IIA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
		3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB						
		21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38						
		39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41						
		57-71 lanthanoids *	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59						
		89-103 actinoids **	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium						

กลุ่มธาตุ *แลนทานอยด์	57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
กลุ่มธาตุ **แอกทิโนยด์	89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkeium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium

รูป 2.29 ธาตุแทรนซิชัน

ธาตุแทรนซิชันเหล่านี้มีอยู่ทั้งในธรรมชาติและได้จากการสังเคราะห์ บางธาตุเป็นธาตุกัมมันตรังสี ธาตุแทรนซิชันมีสมบัติอย่างไร จะได้ศึกษาต่อไป

2.5.1 สมบัติของธาตุแทรนซิชัน

นักเคมีจัดธาตุแทรนซิชันไว้ในกลุ่มของธาตุที่เป็นโลหะ แต่ไม่ได้อยู่กลุ่มเดียวกับธาตุหมู่ IA IIA และ IIIA เพราะเหตุใดจึงจัดธาตุแทรนซิชันไว้อีกกลุ่มหนึ่ง เพื่อตอบคำถามนี้ให้ศึกษาสมบัติของธาตุแทรนซิชันเปรียบเทียบกับสมบัติของธาตุหมู่ IA และ IIA ที่อยู่ในคาบเดียวกันจากตาราง 2.11

ตาราง 2.11 สมบัติบางประการของโพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุแทรนซิชันในคาบที่ 4

ธาตุ	เลขอะตอม	รัศมีอะตอม (pm)	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	ความหนาแน่น (g/mL)	IE_1 (kJ/mol)	EN
K	19	227	63	759	0.89	425	0.82
Ca	20	197	842	1484	1.54	596	1.00
Sc	21	160	1541	2836	2.99	639	1.36
Ti	22	150	1670	3287	4.51	665	1.54
V	23	140	1910	3407	6.00	657	1.63
Cr	24	130	1907	2671	7.15	659	1.66
Mn	25	140	1246	2061	7.30	723	1.55
Fe	26	130	1538	2861	7.87	768	1.83
Co	27	130	1495	2927	8.86	766	1.88
Ni	28	130	1455	2913	8.90	743	1.91
Cu	29	130	1085	2562	8.96	752	1.90
Zn	30	130	419	907	7.14	913	1.65

จากตาราง 2.11 พบว่าธาตุแทรนซิชันในคาบที่ 4 มีสมบัติหลายประการคล้ายกับโลหะหมู่หลักในคาบเดียวกัน เช่น มีค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 และอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำ อย่างไรก็ตาม ธาตุแทรนซิชันมีจุดหลอมเหลว จุดเดือด และความหนาแน่นสูงกว่าโลหะหมู่หลัก เมื่อพิจารณาขนาดอะตอมพบว่า ธาตุแทรนซิชันมีขนาดใกล้เคียงกันและมีขนาดเล็กกว่าโลหะโพแทสเซียมและแคลเซียมเพื่ออธิบายเกี่ยวกับขนาดอะตอมของธาตุแทรนซิชัน ให้นักเรียนพิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุแทรนซิชันในคาบที่ 4 ในตาราง 2.12

ตาราง 2.12 การจัดเรียงอิเล็กตรอนของ K Ca และธาตุแทรนซิชัน ในคาบที่ 4

ธาตุ	เลขอะตอม	การจัดเรียงอิเล็กตรอน ในระดับพลังงานย่อย	จำนวนอิเล็กตรอน ในระดับพลังงาน
K	19	$[\text{Ar}]4s^1$	2 8 8 1
Ca	20	$[\text{Ar}]4s^2$	2 8 8 2
Sc	21	$[\text{Ar}]3d^14s^2$	2 8 9 2
Ti	22	$[\text{Ar}]3d^24s^2$	2 8 10 2
V	23	$[\text{Ar}]3d^34s^2$	2 8 11 2
Cr	24	$[\text{Ar}]3d^54s^1$	2 8 13 1
Mn	25	$[\text{Ar}]3d^54s^2$	2 8 13 2
Fe	26	$[\text{Ar}]3d^64s^2$	2 8 14 2
Co	27	$[\text{Ar}]3d^74s^2$	2 8 15 2
Ni	28	$[\text{Ar}]3d^84s^2$	2 8 16 2
Cu	29	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$	2 8 18 1
Zn	30	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$	2 8 18 2

* $[\text{Ar}]$ แทนการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุอาร์กอนซึ่งคือ $1s^22s^22p^63s^23p^6$

จากตาราง 2.12 จะเห็นว่าธาตุแทรนซิชันในคาบที่ 4 ส่วนใหญ่มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็น 2 และมีจำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยที่อยู่ถัดจากระดับพลังงานนอกสุดเข้าไปไม่เท่ากัน เนื่องจากอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายบรรจุอยู่ในระดับพลังงานย่อย 3d เช่น ธาตุ Sc มีจำนวนอิเล็กตรอนใน 3d เป็น 1 ธาตุ Ti ซึ่งอยู่ในลำดับถัดไปมีอิเล็กตรอนใน 3d เป็น 2 และเพิ่มขึ้นจนครบ 10 ในธาตุ Cu การที่มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นในออร์บิทัล 3d ซึ่งเป็นอิเล็กตรอนวงในที่สามารถกำบังแรงดึงดูดจากนิวเคลียสที่มีต่ออิเล็กตรอนในออร์บิทัล 4s ได้ก็ไม่ได้ทำให้แรงดึงดูดต่ออิเล็กตรอนในชั้น 4s ต่างกันมากนักแม้ว่าเลขอะตอมหรือประจุในนิวเคลียสจะเพิ่มขึ้น ขนาดอะตอมของธาตุแทรนซิชันคาบที่ 4 จากซ้ายไปขวาก็มีขนาดลดลงเพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเหมือนธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียม นอกจากสมบัติต่าง ๆ ในตาราง 2.11 และ 2.12 แล้ว โลหะหมู่หลักและโลหะแทรนซิชันยังมีสมบัติใดแตกต่างกันอีกบ้าง ศึกษาได้จากกิจกรรม 2.4



กิจกรรม 2.4 สีของสารประกอบ

จุดประสงค์ของกิจกรรม

เปรียบเทียบสีของสารประกอบของโลหะหมู่หลักกับโลหะทรานซิชัน

วัสดุและอุปกรณ์

ชุดบัตรภาพสารประกอบ

วิธีทำกิจกรรม

1. รับบัตรภาพสารประกอบ กลุ่มละ 1 ชุด
2. จำแนกสารทั้ง 10 ชนิดว่าสารใดเป็นสารประกอบของโลหะหมู่หลักและสารใดเป็นสารประกอบของโลหะทรานซิชัน
3. สังเกตและเปรียบเทียบสีของสารประกอบของโลหะหมู่หลัก และสารประกอบของโลหะทรานซิชันจากบัตรภาพ บันทึกการสังเกต

ตัวอย่างบัตรภาพ



คอปเปอร์(II)ซัลเฟต เพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

คำถามท้ายกิจกรรม

สีของสารประกอบของโลหะหมู่หลักและสารประกอบของโลหะทรานซิชันเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

จากกิจกรรมการจัดกลุ่มสารทำให้ทราบว่า สารประกอบของโลหะหมู่หลักส่วนใหญ่เป็นสีขาวหรือใสไม่มีสี ส่วนสารประกอบของโลหะทรานซิชันจะมีได้หลายสี เช่น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ มีสีฟ้า MnO_2 มีสีเทาเกือบดำ



ชวนคิด

นักเรียนคิดว่า KMnO_4 K_2CrO_4 และ Na_2CO_3 เป็นสารประกอบที่มีสีหรือไม่ เพราะเหตุใด

จากกิจกรรม 2.4 นักเรียนได้สังเกตความแตกต่างของสารประกอบของโลหะหมู่หลักและโลหะทรานซิชัน และสามารถบอกความแตกต่างได้ด้วยการสังเกต นอกจากสีของสารประกอบแล้ว ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของโลหะทั้งสองกลุ่มยังแตกต่างกันด้วยซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 2.5



กิจกรรม 2.5 การทดลองการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียม แมกนีเซียม ทองแดง และสังกะสีกับน้ำ
2. เปรียบเทียบความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำของธาตุหมู่ IA IIA และธาตุทรานซิชัน
3. ระบุสมบัติความเป็นกรดและเบสของสารละลายที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1. โลหะโซเดียม (Na) | 7. ฟีนอล์ฟทาลีน |
| 2. ลวดแมกนีเซียม (Mg) | 8. น้ำกลั่น |
| 3. ทองแดง (Cu) | 9. บีกเกอร์ |
| 4. สังกะสี (Zn) | 10. หลอดทดลอง |
| 5. สารละลายกรดไฮดรอกลอริก (HCl) | 11. ที่วางหลอดทดลอง |
| 6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) | 12. หลอดหยด |

13. กระบอกตวง

14. กระดาษทรายเบอร์ 1

15. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม

16. เทอร์มอมิเตอร์

17. กระจกนาฬิกา

18. ปากคืบ

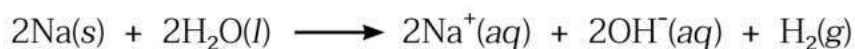
วิธีทดลอง

1. ใส่ HCl 0.3 mol/L และ NaOH 0.3 mol/L ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก หลอดละ 1 mL หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงในหลอดทดลองทั้งสอง หลอดละ 2 หยด สังเกตสีของสารละลาย และเก็บสารละลายไว้เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสีของสารละลายที่เกิดขึ้นในการทดลองต่อไป
2. ใส่น้ำกลั่นปริมาตร 150 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL และหยดฟีนอล์ฟทาลีน ลงในบีกเกอร์จำนวน 2 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง
3. ใช้ปากคืบคืบขึ้น Na ขนาดครึ่งเมล็ดถั่วเขียว ชับน้ำมันให้แห้งใส่ลงในบีกเกอร์ สังเกตการเปลี่ยนแปลง
4. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลองขนาดใหญ่จำนวน 3 หลอด หลอดละ 10 mL และหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไปหลอดละ 2 หยด กำหนดเป็นหลอดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ หย่อนลวด Mg Cu และ Zn ที่ขัดสะอาดแล้วลงในหลอดทดลองขนาดใหญ่แต่ละหลอด สังเกตการเปลี่ยนแปลง
5. ทำการทดลองอีกครั้งแต่ใช้น้ำที่อุณหภูมิ 60–80 °C แทนน้ำที่อุณหภูมิห้องสังเกตการเปลี่ยนแปลง

คำถามท้ายการทดลอง

1. สารละลายในบีกเกอร์ที่ใส่โลหะแต่ละชนิดมีสมบัติเป็นกรดหรือเบส
2. จงเปรียบเทียบความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำของโลหะหมู่หลักและโลหะแทรนซิชัน

จากการทดลองใช้โลหะโซเดียมและแมกนีเซียมเป็นตัวแทนของโลหะหมู่หลักซึ่งอยู่หมู่ IA และ IIA ตามลำดับ เมื่อนำธาตุทั้งสองทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ พบว่าที่อุณหภูมิห้อง โลหะโซเดียมทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วและรุนแรง ส่วนแมกนีเซียมเกิดปฏิกิริยาได้ค่อนข้างช้าแต่จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นในน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีสมบัติเป็นเบสซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน และมีแก๊สเกิดขึ้นซึ่งถ้าทดสอบแก๊สที่เกิดขึ้นจะพบว่าเป็นแก๊สไฮโดรเจน เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ก) โลหะโซเดียมกับน้ำ



ข) โลหะแมกนีเซียมกับน้ำร้อน

รูป 2.30 ปฏิกิริยาของโลหะหมู่หลักกับน้ำ



ชวนคิด

การทดสอบแก๊สเพื่อยืนยันว่าเป็นแก๊สไฮโดรเจนทำได้อย่างไร

สำหรับโลหะทองแดงและสังกะสีซึ่งเป็นตัวแทนของธาตุแทรนซิชันเมื่อใส่ลงไปลงในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าธาตุแทรนซิชันทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำได้ช้ากว่าธาตุหมู่หลัก



แบบฝึกหัด 2.5

1. ธาตุ A B และ C มีเลขอะตอม 40 50 และ 60 ตามลำดับ ธาตุใดเป็นธาตุหมู่หลักและธาตุใดเป็นธาตุแทรนซิชัน
2. เขียนแผนภาพเวกอร์เปรียบเทียบสมบัติที่เหมือนและแตกต่างของโลหะหมู่หลักหรือโลหะทรานซิชัน และโลหะแทรนซิชัน

2.6 ธาตุกัมมันตรังสี

ธาตุอีกกลุ่มหนึ่งในตารางธาตุซึ่งมีสมบัติแตกต่างจากธาตุที่เคยศึกษามาแล้วคือ สามารถแผ่รังสีแล้วกลายเป็นอะตอมของธาตุใหม่ได้ นักเรียนคิดว่าการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดขึ้นได้อย่างไร

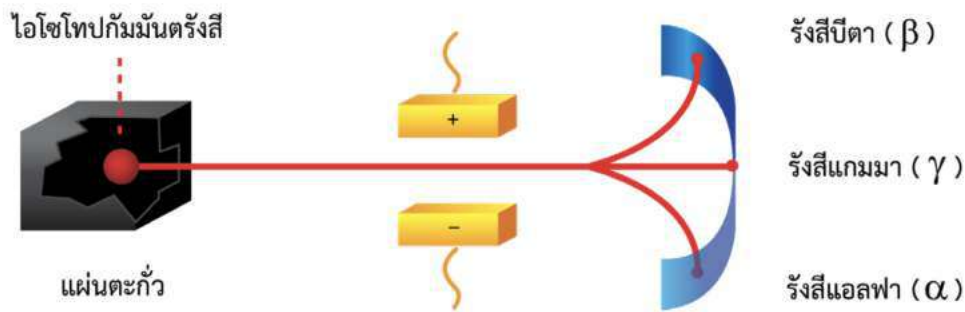
ในปี พ.ศ. 2439 อองตวน อองรี แบ็กเกอเรล (Antoine Henri Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสพบว่า เมื่อเก็บแผ่นฟิล์มถ่ายรูปที่หุ้มด้วยกระดาษสีดำไว้กับสารประกอบของยูเรเนียม แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะเหมือนถูกแสง และเมื่อทำการทดลองกับสารประกอบของยูเรเนียมชนิดอื่น ๆ ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน จึงสรุปว่าน่าจะมีรังสีแผ่ออกมาจากธาตุยูเรเนียม

ต่อมาปีแอร์ กูรี และมารี กูรี (Pierre Curie และ Marie Curie) ได้ค้นพบว่า ธาตุพอโลเนียมและเรเดียม ก็สามารถแผ่รังสีได้เช่นเดียวกัน ปรากฏการณ์ที่ธาตุแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่องเรียกว่า **กัมมันตภาพรังสี** (radioactivity) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของไอโซโทปที่ไม่เสถียรและไอโซโทปของธาตุที่สามารถแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่องเรียกว่า **ไอโซโทปกัมมันตรังสี** (radioactive isotope) หรือ **สารกัมมันตรังสี** (radioactive substance) เช่น carbon-14 (C-14) สำหรับธาตุที่ทุกไอโซโทปเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี จะเรียกธาตุที่มีสมบัติเช่นนี้ว่า **ธาตุกัมมันตรังสี** (radioactive element) ธาตุกัมมันตรังสีส่วนใหญ่มีเลขอะตอมสูงกว่า 83⁵ เช่น U-238 U-235 Th-232 Rn-222 ในธรรมชาติพบธาตุกัมมันตรังสีหลายชนิด นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังสังเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

2.6.1 การเกิดกัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสีเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดกับไอโซโทปกัมมันตรังสีเพราะนิวเคลียสมีพลังงานสูงมากและไม่เสถียร จึงปล่อยพลังงานออกมาในรูปของอนุภาคหรือรังสี จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นว่า รังสีที่แผ่ออกมาจากไอโซโทปกัมมันตรังสีอาจเป็นรังสีแอลฟา (alpha ray) รังสีบีตา (beta ray) หรือแกมมา (gamma ray) ดังรูป 2.31

⁵ในทางเคมี Bi-209 ซึ่งมีเลขอะตอม 83 ถือว่าเป็นธาตุที่เสถียรเนื่องจากมีครึ่งชีวิตของการแผ่รังสีแอลฟาที่ยาวนานมาก (1.9×10^{19} ปี) ซึ่งมากกว่าพันล้านเท่าของอายุของจักรวาล



รูป 2.31 การแผ่รังสีของไอโซโทปกัมมันตรังสีผ่านสนามไฟฟ้า

รังสีที่แผ่ออกมาจากไอโซโทปกัมมันตรังสี เช่น รังสีแอลฟา บีตา แกมมา มีสมบัติเป็นอย่างไร ศึกษาได้จากตาราง 2.13

ตาราง 2.13 สมบัติของรังสีบางชนิด

ชนิดของรังสี	สัญลักษณ์	สมบัติ
รังสีแอลฟา หรืออนุภาคแอลฟา	α หรือ ${}^4_2\text{He}$	เป็นนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม มีโปรตอนและนิวตรอนอย่างละ 2 อนุภาค มีประจุไฟฟ้า +2 มีเลขมวล 4 มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำมาก ไม่สามารถผ่านแผ่นกระดาษได้ เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าโดยเบนเข้าหาขั้วลบ
รังสีบีตา หรืออนุภาคบีตา	β หรือ ${}^0_{-1}\text{e}$	มีสมบัติเหมือนอิเล็กตรอน มีประจุไฟฟ้า -1 มีมวลเท่ากับมวลของอิเล็กตรอน มีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีแอลฟาถึง 100 เท่า ไม่สามารถผ่านแผ่นอะลูมิเนียมบางได้ มีความเร็วใกล้เคียงความเร็วแสง เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าโดยเบนเข้าหาขั้วบวก

ชนิดของรังสี	สัญลักษณ์	สมบัติ
รังสีแกมมา	γ	เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ไม่มีประจุและไม่มีมวล มีอำนาจทะลุทะลวงสูง แต่ไม่สามารถผ่านวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น แผ่นตะกั่วหนาได้

รังสีที่แผ่ออกมาจากไอโซโทปกัมมันตรังสี นอกจากรังสีแอลฟา บีตา แกมมา แล้วยังมีรังสีชนิดอื่น ๆ เช่น โพซิตรอน (β^+) สัญลักษณ์คือ ${}^0_1\text{e}$ โปรตอน (p) สัญลักษณ์คือ ${}^1_1\text{H}$ ดิวเทอรอน (D) สัญลักษณ์คือ ${}^2_1\text{H}$ ทริทอน (T) สัญลักษณ์คือ ${}^3_1\text{H}$ นิวตรอน (n) สัญลักษณ์คือ ${}^1_0\text{n}$



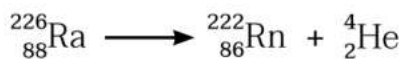
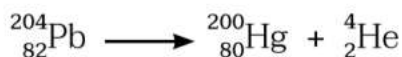
รู้หรือไม่

โพซิตรอน (positron) เป็นอนุภาคที่มีมวลเท่ากับอิเล็กตรอนแต่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก

2.6.2 การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี

จากการศึกษาไอโซโทปของธาตุจำนวนมากทำให้ได้ข้อสังเกตว่า ไอโซโทปของนิวเคลียสที่มีอัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวตรอนต่อจำนวนโปรตอนไม่เหมาะสมคือนิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนแตกต่างจากจำนวนโปรตอนมากเกินไปจะไม่เสถียร จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสโดยการแผ่รังสี (radiation) ออกมาแล้วเกิดเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ที่เสถียรมากกว่า ดังตัวอย่างต่อไปนี้

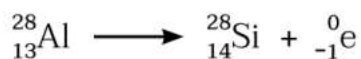
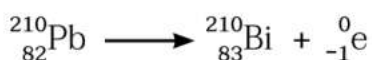
การแผ่รังสีแอลฟา ส่วนใหญ่เกิดกับนิวเคลียสที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 83 และมีจำนวนนิวตรอนต่อโปรตอนในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม เมื่อปล่อยรังสีแอลฟาออกมาจะกลายเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ที่เสถียรซึ่งมีเลขอะตอมลดลง 2 และเลขมวลลดลง 4 ดังตัวอย่าง



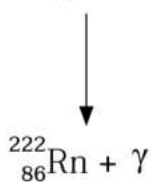
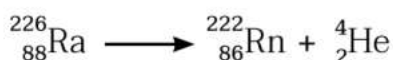
รู้หรือไม่

สมการนิวเคลียร์ที่ดุลแล้วจะต้องมีผลรวมของเลขอะตอมและเลขมวลของสารก่อนเกิดปฏิกิริยาเท่ากับผลรวมของเลขอะตอมและเลขมวลของสารหลังเกิดปฏิกิริยา

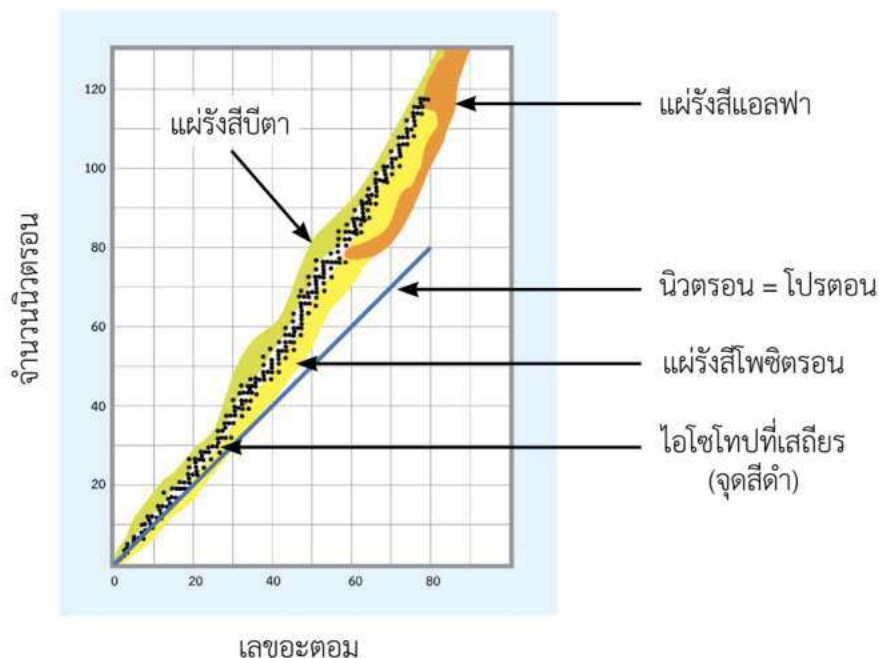
การแผ่รังสีบีตา เกิดกับนิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอนมาก นิวตรอนในนิวเคลียสจะเปลี่ยนไปเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกจากนิวเคลียสในรูปของรังสีบีตาและนิวเคลียสใหม่จะมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 โดยที่เลขมวลยังคงเดิม ดังตัวอย่าง



การแผ่รังสีแกมมา เกิดกับไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีพลังงานสูงมาก หรือไอโซโทปที่สลายตัวให้รังสีแอลฟาหรือบีตา แต่นิวเคลียสที่เกิดใหม่ยังไม่เสถียรเพราะมีพลังงานสูงจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียสเพื่อให้มีพลังงานต่ำลง โดยปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเป็นรังสีแกมมา ดังตัวอย่าง



ชนิดของรังสีที่ไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือธาตุกัมมันตรังสีปลดปล่อยออกมา สามารถพิจารณาได้จากกราฟในรูป 2.32



รูป 2.32 เขตเสถียรภาพของไอโซโทปของธาตุและชนิดของรังสีที่แผ่จากเขตเสถียรภาพ

จากรูป 2.32 แถบที่แรเงาแทนแถบเสถียรภาพ (belt of stability) จุดสีดำแทนไอโซโทปของธาตุที่เสถียร ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าธาตุที่มีจำนวนโปรตอน (เลขอะตอม) มากกว่า 83 ไม่มีไอโซโทปที่เสถียร ไอโซโทปที่ไม่เสถียรเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะปล่อยรังสีแอลฟาเพื่อเกิดเป็นไอโซโทปใหม่ที่มีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนลดลง สำหรับไอโซโทปที่มีสัดส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนมากเกินไป (แถบสีเขียว) มีแนวโน้มแผ่รังสีบีตาเพราะเมื่อปล่อยรังสีบีตาออกมาจะเกิดเป็นไอโซโทปใหม่ที่มีจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้นแต่จำนวนนิวตรอนลดลง (เลขมวลเท่าเดิม) ในขณะที่ไอโซโทปที่มีสัดส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนน้อยเกินไป (แถบสีเหลือง) จะมีแนวโน้มแผ่รังสีโพซิตรอน ซึ่งจะทำให้ไอโซโทปที่เกิดขึ้นมีจำนวนโปรตอนลดลงแต่นิวตรอนเพิ่มขึ้น (เลขมวลเท่าเดิม)



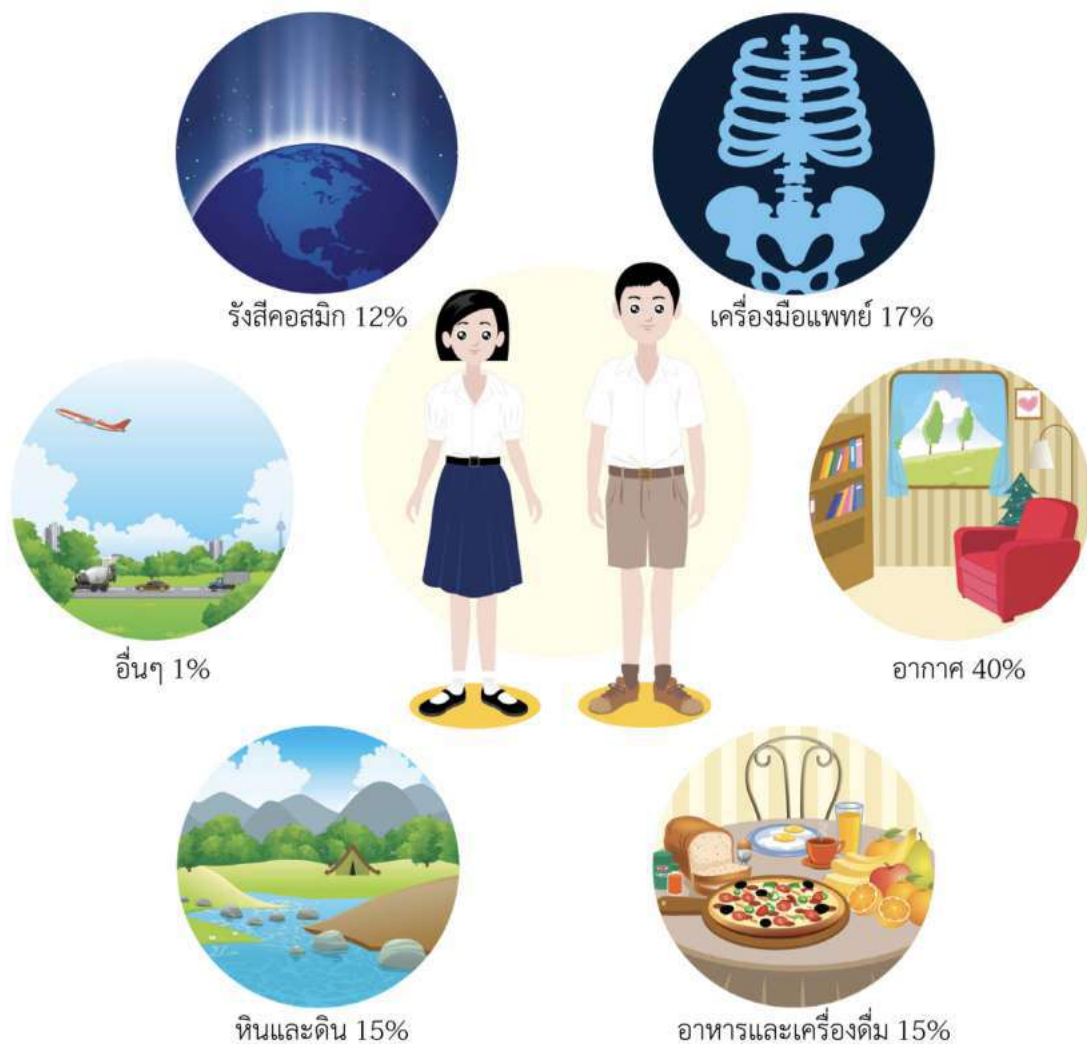
ตรวจสอบความเข้าใจ

- ปัจจัยใดที่ทำให้ $^{204}_{82}\text{Pb}$ มีแนวโน้มในการแผ่รังสีแอลฟาในขณะที่ $^{210}_{82}\text{Pb}$ มีแนวโน้มในการแผ่รังสีบีตา
- นักเรียนคิดว่า $^{14}_6\text{C}$ มีแนวโน้มในการแผ่รังสีชนิดใด เพราะเหตุใด

นิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสีสามารถสลายตัวและแผ่รังสีได้ตลอดเวลาโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิหรือความดัน การสลายตัวและแผ่รังสีของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอนุภาคในนิวเคลียสกัมมันตรังสีนั้น

2.6.3 อันตรายจากไอโซโทปกัมมันตรังสี

กิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันทั้งการรับประทานอาหาร การดื่มน้ำ การหายใจ ล้วนมีโอกาสที่มนุษย์จะได้รับรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสี เช่น K-40 C-14 Ra-226 เข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับรังสีคอสมิก (cosmic ray) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากอวกาศ รังสีต่าง ๆ เหล่านี้มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ นอกจากนี้บางคนยังได้รับรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นมา เช่น รังสีจากเครื่องเอกซเรย์ รังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์



รูป 2.33 ปริมาณรังสีที่ได้รับในแต่ละวันโดยประมาณ

แม้มนุษย์จะได้รับรังสีจากกิจวัตรประจำวัน แต่การได้รับรังสีจากธรรมชาติหรือจากที่มนุษย์สร้างขึ้นในปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยน้อยกว่า 100 มิลลิซีเวิร์ตพบว่า เซลล์เนื้อเยื่อสามารถฟื้นตัวได้ แต่การได้รับรังสีมากกว่า 100 มิลลิซีเวิร์ต ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ เป็นมะเร็ง โรคทางพันธุกรรม ต้อแก้วตา การได้รับรังสีปริมาณมากทั่วร่างกายในเวลาสั้น ๆ สามารถทำให้เสียชีวิตได้



ศัพท์น่ารู้

ซีเวิร์ต (sievert, Sv) เป็นหน่วยวัดปริมาณการได้รับรังสี กำหนดโดย คณะกรรมาธิการว่าด้วยการป้องกันรังสีระหว่างประเทศ (International Commission on Radiological Protection หรือ ICRP)

สำหรับหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวกับรังสีจะต้องแสดง**สัญลักษณ์รังสี** (radiation symbol) ลงบนฉลากของภาชนะหรือเครื่องมือรวมทั้งบริเวณใกล้เคียง เพื่อให้ผู้พบเห็นได้ระมัดระวัง สัญลักษณ์รังสีใช้เป็นมาตรฐานจะเป็นรูปใบพัด 3 แฉก มีสีม่วงอ่อน ม่วงเข้ม หรือสีดำบนพื้นสีเหลือง ดังรูป 2.34



รูป 2.34 สัญลักษณ์รังสี

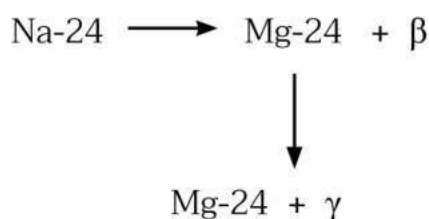
เนื่องจากสัญลักษณ์รังสีดังรูป 2.34 อาจสื่อความหมายไม่ชัดเจนหรือบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องอาจไม่เข้าใจความหมาย ดังนั้นทบวงปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency หรือ IAEA) และองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization หรือ ISO) ได้ออกแบบสัญลักษณ์ใหม่เป็นรูปคลื่นของรังสี แกะโหลกไขว้ และคนกำลังวิ่ง ดังรูป 2.35 โดยมีการประกาศใช้เมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2550

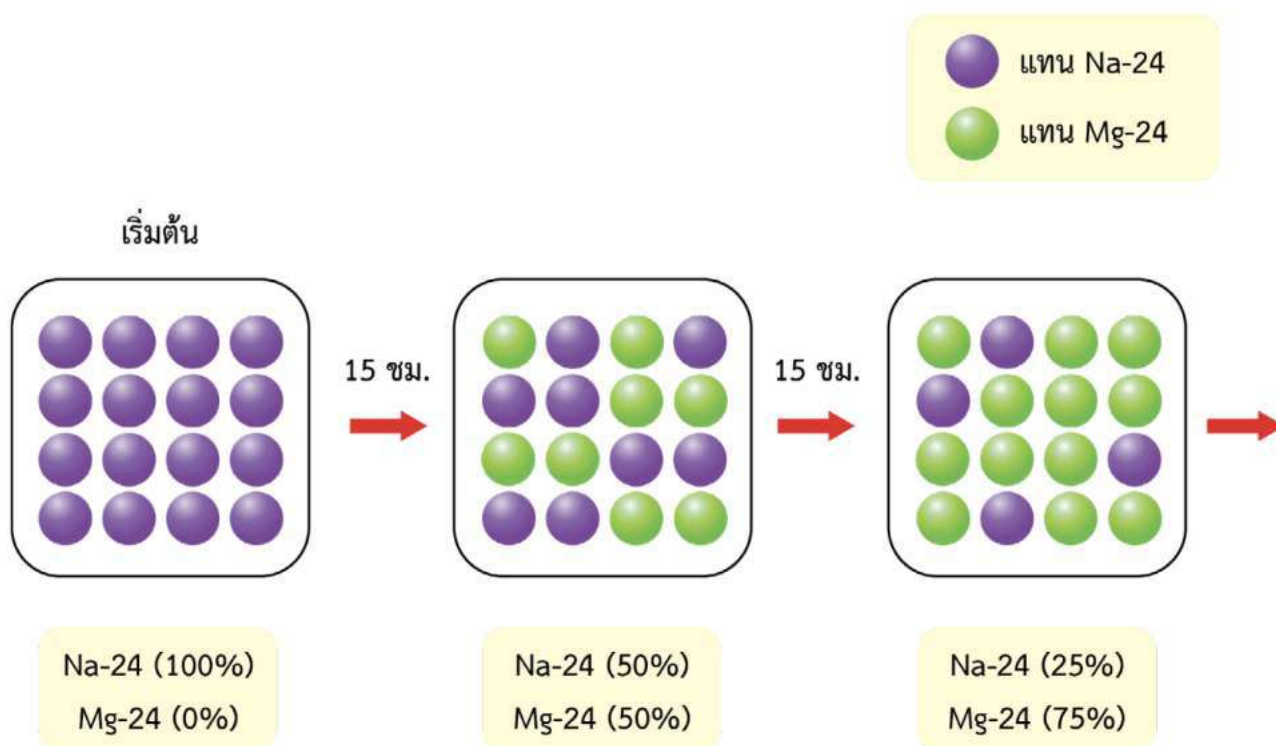


รูป 2.35 สัญลักษณ์รังสีแบบใหม่

2.6.4 ครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสี

ไอโซโทปกัมมันตรังสีจะสลายตัวให้รังสีชนิดใดชนิดหนึ่งออกมาได้เองตลอดเวลา ไอโซโทปกัมมันตรังสีแต่ละชนิดจะสลายตัวได้เร็วหรือช้าแตกต่างกัน อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะบอกเป็น **ครึ่งชีวิต** (half life) ใช้สัญลักษณ์ $t_{1/2}$ โดยหมายถึง ระยะเวลาที่นิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสีสลายตัวจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุชนิดหนึ่ง ๆ จะมีครึ่งชีวิตคงเดิมไม่ว่าจะอยู่ในรูปของธาตุหรือเกิดเป็นสารประกอบ เช่น Na-24 มีครึ่งชีวิต 15 ชั่วโมง หมายความว่าถ้าเริ่มต้นมี Na-24 ปริมาณ 10 กรัม นิวเคลียสนี้จะสลายตัวให้รังสีออกมาจนกระทั่งเวลาผ่านไปครบ 15 ชั่วโมง จะมี Na-24 เหลืออยู่ 5 กรัม และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 15 ชั่วโมง จะมี Na-24 เหลืออยู่ 2.5 กรัม นั่นคือเวลาผ่านไปทุก ๆ 15 ชั่วโมง Na-24 จะสลายตัวไปเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม เขียนแสดงได้ดังรูป 2.36





รูป 2.36 แสดงปริมาณของ Na-24 ที่ลดลงครึ่งหนึ่งทุก ๆ 15 ชั่วโมง



ตรวจสอบความเข้าใจ

- เมื่อ Na-24 สลายตัวจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม ปริมาณเนื้อสารทั้งหมดควรลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิมหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ถ้าผ่านไป 60 ชั่วโมง จากจุดเริ่มต้น จะเหลือ Na-24 อยู่ร้อยละเท่าใด

ครึ่งชีวิตเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละไอโซโทปและสามารถใช้เปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีแต่ละชนิดได้ ตัวอย่างครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีบางชนิด แสดงดังตาราง 2.14

ตาราง 2.14 ตัวอย่างครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีบางชนิด

ไอโซโทปกัมมันตรังสี	ครึ่งชีวิต	รังสีที่แผ่ออก
$^{214}_{84}\text{Po}$	1.6×10^{-4} วินาที	α
$^{131}_{53}\text{I}$	8.1 วัน	β
$^{60}_{27}\text{Co}$	5.3 ปี	β
$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 ปี	α และ γ
$^{14}_6\text{C}$	5730 ปี	β
$^{238}_{92}\text{U}$	4.5×10^9 ปี	α

ระยะเวลาที่แสดงถึงครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีสามารถนำไปใช้คำนวณหาปริมาณของไอโซโทปกัมมันตรังสีในระยะเวลาต่าง ๆ กันได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

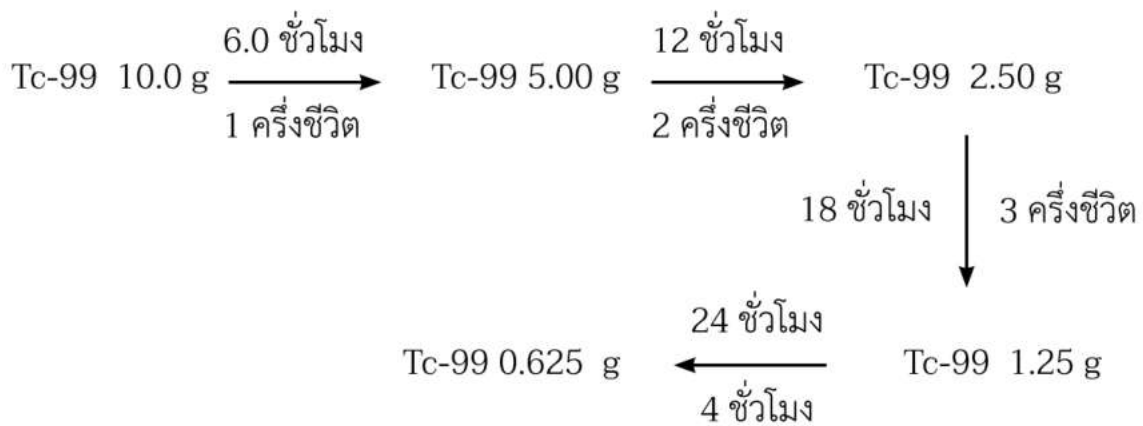


ตัวอย่าง 1

จงหาปริมาณของ Tc-99 ที่เหลือเมื่อวาง Tc-99 จำนวน 10.0 กรัมไว้นาน 24 ชั่วโมง และ Tc-99 มีครึ่งชีวิต 6.0 ชั่วโมง

แนวคิด

Tc-99 มีครึ่งชีวิต 6.0 ชั่วโมง เมื่อวาง Tc-99 ไว้นาน 24 ชั่วโมงจึงเท่ากับวางไว้นาน 4 ครึ่งชีวิต ถ้ามี Tc-99 จำนวน 10.0 g ปริมาณ Tc-99 ที่เหลือในแต่ละครึ่งชีวิตจะเป็นดังนี้



แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงจะมี Tc-99 เหลืออยู่ 0.625 กรัม

นอกจากวิธีการข้างต้น เรายังสามารถคำนวณโดยใช้สูตร $N_t = \frac{N_0}{2^n}$

เมื่อ N_0 = มวลไอโซโทปเริ่มต้น (กรัม)
 N_t = มวลไอโซโทปที่เหลือ (กรัม)
 n = จำนวนครึ่งชีวิต

จากตัวอย่าง 1 เมื่อแทนค่าในสูตรจะได้

$$N_t = \frac{10 \text{ กรัม}}{2^4} = \frac{10 \text{ กรัม}}{16} = 0.625 \text{ กรัม}$$



ตัวอย่าง 2

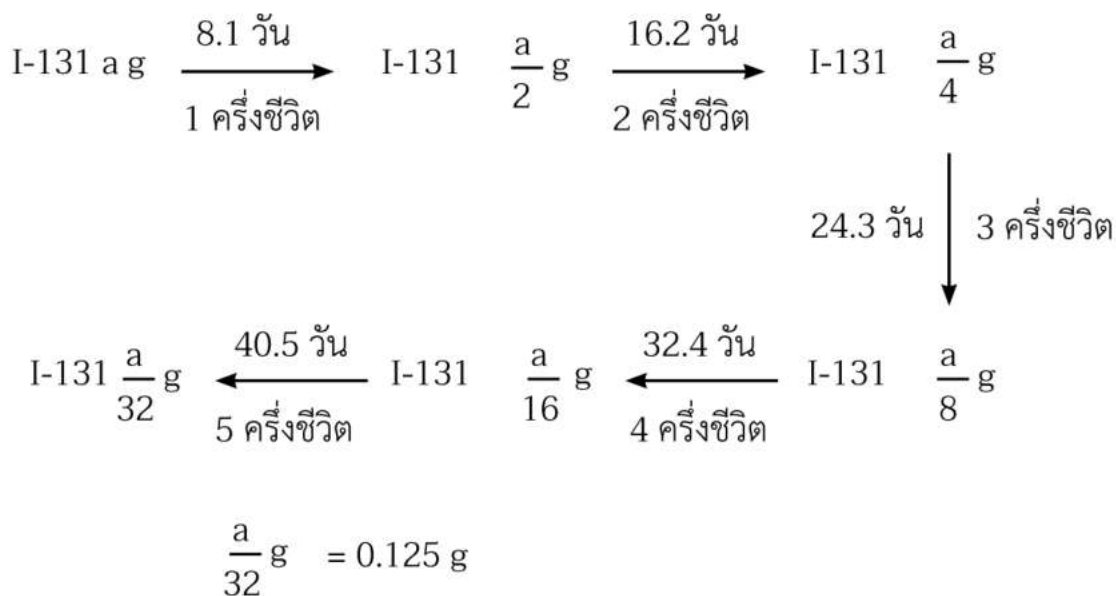
จงหาปริมาณ I-131 เริ่มต้น เมื่อนำ I-131 จำนวนหนึ่งมาวางไว้เป็นเวลา 40.5 วัน ปรากฏว่ามีมวลเหลือ 0.125 กรัม โดยครึ่งชีวิตของ I-131 เท่ากับ 8.1 วัน

แนวคิด

สมมติ I-131 เริ่มต้นมี a กรัม

I-131 จำนวน a กรัมวางไว้ 40.5 วัน = 5 ครึ่งชีวิต

ครึ่งชีวิตสุดท้าย I-131 ที่เหลือมีมวล = 0.125 กรัม



$$a = 0.125 \times 32 = 4.00 \text{ g}$$

แสดงว่า I-131 เริ่มต้นมีมวล 4.00 กรัม

จากตัวอย่าง 2 เมื่อแทนค่าในสูตรจะได้

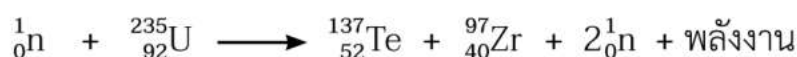
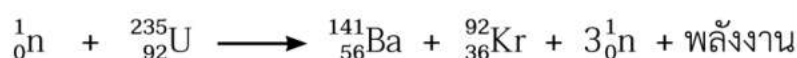
$$N_t = \frac{N_0}{2^n} \quad \text{หมายเหตุ } n = (40.5/8.1 = 5)$$

$$N_0 = 0.125 \text{ g} \times 2^5 = 0.125 \text{ g} \times 32 = 4.00 \text{ g}$$

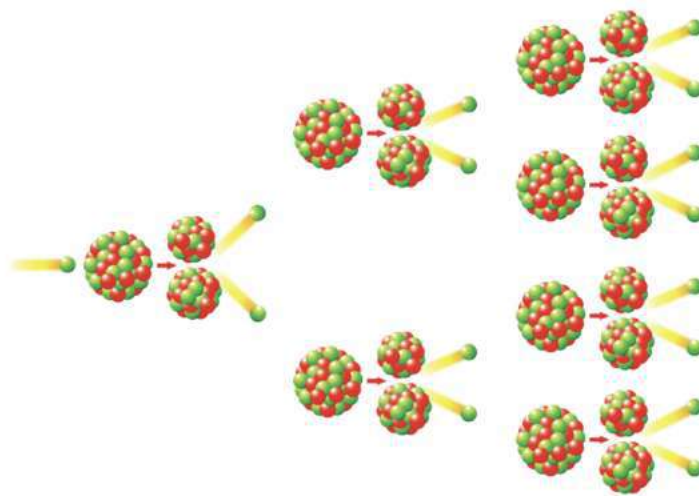
2.6.5 ปฏิกิริยานิวเคลียร์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นการเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสี อาจเกิดจากการแตกตัวของนิวเคลียสของอะตอมที่มีขนาดใหญ่ หรือเกิดจากการรวมตัวของนิวเคลียสของอะตอมที่มีขนาดเล็กแล้วได้ไอโซโทปใหม่หรือนิวเคลียสของธาตุใหม่ รวมทั้งมีพลังงานเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

ในปี พ.ศ. 2482 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบว่าเมื่อยิงอนุภาคนิวตรอนไปยังนิวเคลียสของ U-235 นิวเคลียสจะแตกออกเป็นนิวเคลียสของธาตุที่เบากว่า เช่น



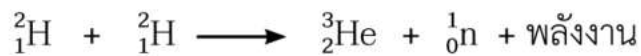
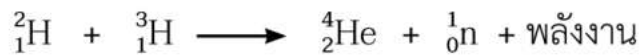
กระบวนการที่นิวเคลียสของไอโซโทปของธาตุหนักบางชนิด แตกออกเป็นไอโซโทปของธาตุที่เบากว่าดังตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วเรียกว่า **ฟิชชัน** (fission) ไอโซโทปของธาตุอื่นที่สามารถเกิดฟิชชันได้ เช่น U-238 หรือ Pu-239 การเกิดฟิชชันแต่ละครั้งจะคายพลังงานออกมาจำนวนมากและได้ไอโซโทปกัมมันตรังสีหลายชนิด จึงถือได้ว่าฟิชชันเป็นวิธีผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสีที่สำคัญ นอกจากนี้ฟิชชันยังได้นิวตรอนเกิดขึ้นด้วย ถ้านิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้ชนกับนิวเคลียสอื่น ๆ จะเกิด ฟิชชันต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า **ปฏิกิริยาลูกโซ่** (chain reaction) ดังรูป 2.37



รูป 2.37 ปฏิกิริยาลูกโซ่

ฟิชชันที่เกิดขึ้นภายใต้ภาวะที่เหมาะสม จะได้จำนวนนิวตรอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ฟิชชันดำเนินไปอย่างรวดเร็วและปล่อยพลังงานออกมาจำนวนมากมหาศาล ถ้าไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้อาจเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง หลักการของการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้นำมาใช้ในการทำระเบิดปรมาณู การควบคุมฟิชชันทำได้หลายวิธี เช่น ควบคุมมวลของสารตั้งต้นให้น้อยลงเพื่อให้จำนวนนิวตรอนที่เกิดขึ้นมีไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ หรือใช้โลหะแคดเมียมและโบรอนจับนิวตรอนบางส่วนไว้เพื่อลดจำนวนนิวตรอนที่เกิดขึ้น ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์นำฟิชชันมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสีในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อใช้ในการเกษตร การแพทย์ และอุตสาหกรรม ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าปรมาณู

ในกรณีที่นิวเคลียสของธาตุเบาสองชนิดหลอมรวมกันเกิดเป็นนิวเคลียสใหม่ที่มีมวลสูงกว่าเดิมและให้พลังงานปริมาณมากดังตัวอย่าง



กระบวนการนี้เรียกว่า **ฟิวชัน** (fusion) ปฏิกริยาทั้งสองนี้เป็นปฏิกริยาเดียวกับที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ การเกิดฟิวชันจะต้องใช้พลังงานเริ่มต้นสูงมาก เพื่อเอาชนะแรงผลักระหว่างนิวเคลียสที่จะเข้ารวมกัน ซึ่งประมาณกันว่าจะต้องมีอุณหภูมิสูงถึงหลายล้านองศาเซลเซียส พลังงานมหาศาลนี้อาจได้จากฟิชชันซึ่งเปรียบเสมือนเป็นชนวนที่ทำให้เกิดฟิวชัน ถ้าพลังงานที่ปล่อยออกมาจากฟิวชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง แต่ถ้าควบคุมให้มีการปล่อยพลังงานออกมาอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องจะให้พลังงานมหาศาลที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ ฟิวชันมีข้อได้เปรียบกว่าฟิชชันหลายประการกล่าวคือ คายพลังงานออกมามาก สารตั้งต้นของฟิวชันหาได้ง่ายและมีปริมาณมาก นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากฟิวชันเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้นและมีอันตรายน้อยกว่าผลิตภัณฑ์จากฟิชชัน

แม้จะมีการค้นพบกระบวนการฟิวชันมานานแต่การนำมาใช้อย่างเป็นรูปธรรมเป็นไปได้ยาก เพราะการเกิดฟิวชันต้องใช้อุณหภูมิสูงมาก ซึ่งที่สภาวะนี้สารจะเปลี่ยนรูปเป็น **พลาสมา** (plasma) ซึ่งไม่เสถียร ดังนั้นการควบคุมกระบวนการฟิวชันให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นไปได้ยากมาก



ศัพท์น่ารู้

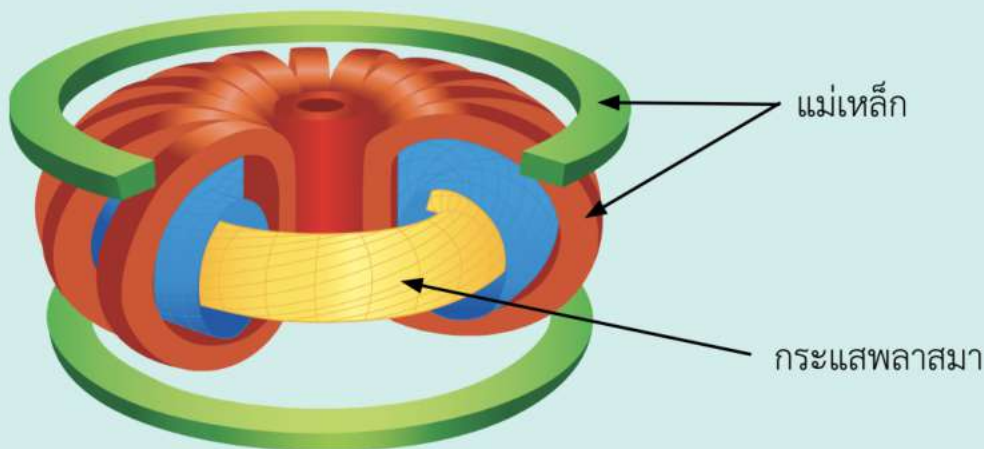
พลาสมา ในทางเคมีหมายถึงแก๊สที่เสียอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 อิเล็กตรอน จากโมเลกุล ทำให้มีสภาพเป็นไอออน และมีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น

ตัวอย่างของการพยายามนำความรู้เรื่องฟิวชันมาใช้ประโยชน์ เช่น การสร้างโทคาแมค (tokamak) ขนาดใหญ่ภายใต้โครงการผลิตเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันซึ่งเป็นความร่วมมือกันในระดับนานาชาติ มีสมาชิกหลักคือ สหรัฐอเมริกา ยุโรป รัสเซีย จีน ญี่ปุ่น และ เกาหลีใต้ โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบของโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ฟิวชัน



รู้หรือไม่

โทคาแมค เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนิวเคลียร์ฟิวชันโดยใช้สนามแม่เหล็กเป็นตัวควบคุมพลาสมา ภายนอกโทคาแมคมีลักษณะเหมือนขนมโดนัท



2.6.6 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารกัมมันตรังสี

สารกัมมันตรังสีแต่ละชนิดมีครึ่งชีวิตไม่เท่ากันและแผ่รังสีได้แตกต่างกัน การนำสารกัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์จึงแตกต่างกันดังตัวอย่าง

ด้านธรณีวิทยา ใช้ C-14 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 5730 ปี หาอายุของวัตถุโบราณที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ กระดูก สารอินทรีย์ต่าง ๆ การหาอายุวัตถุโบราณโดยการวัดปริมาณของ C-14 อธิบายได้ว่า ในบรรยากาศมี C-14 ซึ่งเกิดจากไนโตรเจนรวมตัวกับนิวตรอนจากรังสีคอสมิกดังปฏิกิริยา



ในอากาศจึงมีทั้งคาร์บอนในรูปของ C-12 และ C-14 เมื่อคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงพบทั้งในรูปของ ${}^{12}\text{CO}_2$ ปนอยู่กับ ${}^{14}\text{CO}_2$ ซึ่งพืชจะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อสัตว์กินพืชเหล่านั้นเป็นอาหาร C-14 จะเข้าสู่ร่างกายของสัตว์ทำให้พบ C-14 ได้ทั้งในพืชและสัตว์ ขณะที่พืชหรือสัตว์ยังมีชีวิตอยู่ ${}^{14}\text{CO}_2$ จะถูกรับเข้าและขับออกตลอดเวลา เป็นผลให้ C-14 ในสิ่งมีชีวิตมีความเข้มข้นคงที่หรือกล่าวได้ว่าสัดส่วนระหว่าง

C-14 ต่อ C-12 มีค่าคงที่ เมื่อสิ่งมีชีวิตตาย การรับ C-14 เข้าสู่ร่างกายจะสิ้นสุดลง แต่การสลายตัวยังเกิดขึ้นต่อไป จึงทำให้มีปริมาณ C-14 หรือสัดส่วนระหว่าง C-14 ต่อ C-12 ลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นถ้าทราบสัดส่วนระหว่าง C-14 ต่อ C-12 ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่และวัดปริมาณของ C-14 ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ได้ ก็สามารถทำนายอายุได้ เช่น สมมติว่าพบซากไม้โบราณชิ้นหนึ่งมีอัตราการสลายตัวของ C-14 ลดลงไปถึงครึ่งหนึ่งของเดิมขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ก็อาจสรุปได้ว่า ไม้ชิ้นนั้นตายมาแล้วเท่ากับครึ่งชีวิตของ C-14 หรือมีอายุประมาณ 5730 ปี

ด้านการแพทย์ ใช้เพื่อศึกษาความผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย โดยให้คนไข้รับประทานอาหารหรือยาที่มีไอโซโทปกัมมันตรังสีจำนวนเล็กน้อย จากนั้นใช้เครื่องมือตรวจสอบรังสีเพื่อติดตามผลการดูดซึมไอโซโทปกัมมันตรังสีของระบบอวัยวะต่าง ๆ เช่น ให้ดื่มสารละลาย I-131 แล้วติดตามดูความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ ใช้ I-132 ติดตามคุณภาพสมอง ฉีด Na-24 เข้าเส้นเลือดโดยตรงเพื่อดูระบบการไหลเวียนของเลือด รับประทาน Tc-99 เมื่อต้องการดูภาพหัวใจ ตับ ปอด นอกจากนี้แพทย์ยังใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีรักษาโรคโดยตรง เช่น ใช้ Co-60 หรือ Ra-226 ในการรักษาโรคมะเร็ง

ด้านเกษตรกรรม ใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีในการติดตามระยะเวลาของการหมุนเวียนแร่ธาตุในพืช โดยเริ่มต้นจากการดูดซึมที่รากจนถึงการคายออกที่ใบ หรือจำนวนแร่ธาตุที่พืชสะสมไว้ที่ใบ เช่น ใช้ P-32 จำนวนเล็กน้อยผสมกับฟอสฟอรัสที่ไม่มีรังสีเพื่อทำปุ๋ย แล้วใช้เครื่องไกเกอร์ มุลเลอร์ เคาน์เตอร์ ตรวจวัดรังสีที่ใบของพืช ใช้รังสีเพื่อการปรับปรุงเมล็ดพันธุ์พืชให้ได้พันธุ์กรรมตามต้องการโดยการนำเมล็ดพันธุ์พืชมาอาบรังสีนิวตรอนในปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้

ด้านอุตสาหกรรม ใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีกับงานหลายอย่าง เช่น ใช้ตรวจหารอยตำหนิในโลหะหรือรอยร้าวของท่อขนส่งของเหลว โดยผสมไอโซโทปกัมมันตรังสีกับของเหลวที่จะขนส่งไปตามท่อ แล้วติดตามการแผ่รังสีด้วยเครื่องไกเกอร์ มุลเลอร์ เคาน์เตอร์ ถ้าบริเวณใดที่เครื่องมือสัญญาณจำนวนนับมากผิดปกติแสดงว่าบริเวณนั้นมีการรั่วไหลเกิดขึ้น ใช้วัดความหนาของวัตถุเนื่องจากรังสีแต่ละชนิดทะลุทะลวงวัตถุได้ดีไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อผ่านรังสีไปยังแผ่นวัตถุต่าง ๆ เช่น โลหะ กระดาษ พลาสติก แล้ววัดความสามารถในการดูดซับรังสีของวัตถุนั้นด้วยเครื่องไกเกอร์ มุลเลอร์ เคาน์เตอร์ เปรียบเทียบจำนวนนับกับตารางข้อมูลก็จะทำให้ทราบความหนาของวัตถุได้

ในอุตสาหกรรมการทำอัญมณีใช้รังสีเพื่อทำให้อัญมณีมีสีสวยงามขึ้น โดยใช้รังสีแกมมา นิวตรอน หรืออิเล็กตรอนพลังงานสูงฉายไปบนอัญมณี จะทำให้สารที่ทำให้เกิดสีบนอัญมณีเปลี่ยนสีไปได้ อัญมณีที่ฉายด้วยรังสีแกมมาจะไม่มีรังสีตกค้างแต่การอาบด้วยรังสีนิวตรอนจะมีไอโซโทปกัมมันตรังสีเกิดขึ้น จึงต้องปล่อยให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีสลายตัวจนมีระดับรังสีที่ปลอดภัยจึงนำมาใช้ประโยชน์

การเก็บถนอมอาหาร ใช้ Co-60 ซึ่งจะให้รังสีแกมมาที่ไม่มีผลตกค้างและรังสีจะทำลายแบคทีเรีย จึงช่วยเก็บรักษาอาหารไว้ได้นานหลายวันหลังจากการผ่านรังสีเข้าไปในอาหารแล้ว

จะเห็นได้ว่าไอโซโทปกัมมันตรังสีให้ประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมาก แต่ถ้าใช้ในปริมาณไม่ถูกต้อง หรือนำไปใช้ในสภาพไม่เหมาะสมก็จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้



ชวนคิด

สัญลักษณ์ดังกล่าวบนฉลากอาหาร
มีความหมายว่าอะไร





แบบฝึกหัด 2.6

1. จงเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของอนุภาคต่อไปนี้
 - 1.1 อนุภาคแอลฟา
 - 1.2 อนุภาคบีตา
 - 1.3 อนุภาคโพซิตรอน
2. ธาตุแฟรนเซียม คาร์บอน นีออน ทอเรียม ธาตุใดบ้างไม่มีไอโซโทปที่เสถียรในธรรมชาติ
3. จงเขียนสมการต่อไปนี้ให้สมบูรณ์
 - 3.1 ${}_{14}^{27}\text{Si} \longrightarrow \dots\dots\dots + {}_{+1}^0\text{e}$
 - 3.2 ${}_{29}^{66}\text{Cu} \longrightarrow {}_{30}^{66}\text{Zn} + \dots\dots\dots$
 - 3.3 ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \longrightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + \dots\dots\dots$
4. ไอโอดีน-131 มีครึ่งชีวิต 8 วัน จำนวน 10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไปวันจึงจะมี ไอโอดีน-131 เหลือ 2.5 กรัม
5. เขียนแผนภาพเวกเนอร์เพื่อเปรียบเทียบฟิวชันและฟิชชัน

2.7 การนำธาตุไปใช้ประโยชน์และผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต

มนุษย์นำธาตุมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่อดีตกาล เช่น นำทองคำมาทำเครื่องประดับ นำเหล็กมาทำมีด นำทองแดงมาทำภาชนะเครื่องใช้ ในปัจจุบันมีการค้นพบและศึกษาสมบัติของธาตุมากขึ้นจึงมีการนำธาตุมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น ในหัวข้อนี้นักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับประโยชน์ของธาตุบางชนิด รวมทั้งศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

2.7.1 ประโยชน์ของธาตุ

การจำแนกธาตุออกเป็นกลุ่มนอกจากจะช่วยให้ง่ายต่อการศึกษาสมบัติของธาตุแล้ว ยังง่ายต่อการพิจารณาสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้อีกด้วย ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากธาตุดังนี้

ธาตุโลหะมีสมบัติการนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดีจึงนิยมนำมาทำเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น นำทองแดงมาทำสายไฟฟ้า นำสังกะสีมาทำขั้วไฟฟ้าของถ่านไฟฉาย นำลิเทียมมาทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลิเทียม นำโซเดียมมาเป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนและหล่อเย็นในปฏิกรณ์นิวเคลียร์

ธาตุกึ่งโลหะ เช่น ซิลิคอน เจอร์เมเนียม มีสมบัติก้ำกึ่งระหว่างสมบัติของโลหะกับอโลหะ เช่น

นำไฟฟ้าได้แต่นำได้ไม่ดี นิยมนำมาทำเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductors) ซึ่งมีสมบัติในการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวนเพื่อใช้เป็นวัสดุทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

ธาตุหมู่ 18 หรือ VIIIA เป็นธาตุที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาจึงนำมาใช้ประโยชน์ตามสมบัติของแก๊สมีสกุล เช่น นาฮีเลียมซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศมาบรรจุในบอลูนและเรือเหาะแทนแก๊สไฮโดรเจน เนื่องจากแก๊สฮีเลียมไม่ติดไฟเหมือนแก๊สไฮโดรเจน นำอาร์กอนมาเป็นแก๊สบรรจุในหลอดไฟเพื่อให้ไส้หลอดมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ทั้งนี้เพราะอาร์กอนไม่ทำปฏิกิริยากับไส้หลอดขณะที่ร้อน

สำหรับธาตุที่มีไอโซโทปกัมมันตรังสี สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.6.6 แม้ธาตุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีสมบัติคล้ายกัน แต่ธาตุทุกชนิดยังมีสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการนำไปใช้ประโยชน์จึงมีความจำเพาะแตกต่างกัน การที่ธาตุแต่ละชนิดมีสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันทำให้บางครั้งนักวิทยาศาสตร์ต้องนำธาตุมากกว่า 1 ชนิดมาละลายหรือผสมกันเพื่อให้มีสมบัติตามที่ต้องการและนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น เช่น นำเหล็กมาผสมกับโครเมียมเพื่อป้องกันไม่ให้เหล็กเป็นสนิมจึงทนต่อการผุกร่อนมากขึ้น

เพื่อให้นักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับตัวอย่างของการนำธาตุไปใช้ประโยชน์มากขึ้น ให้ทำกิจกรรม 2.6 ซึ่งในกิจกรรมนี้นักเรียนต้องศึกษาข้อมูลที่กำหนดให้ และทำนายว่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่กำหนดให้น่าจะเป็นการใช้ประโยชน์ของธาตุใด



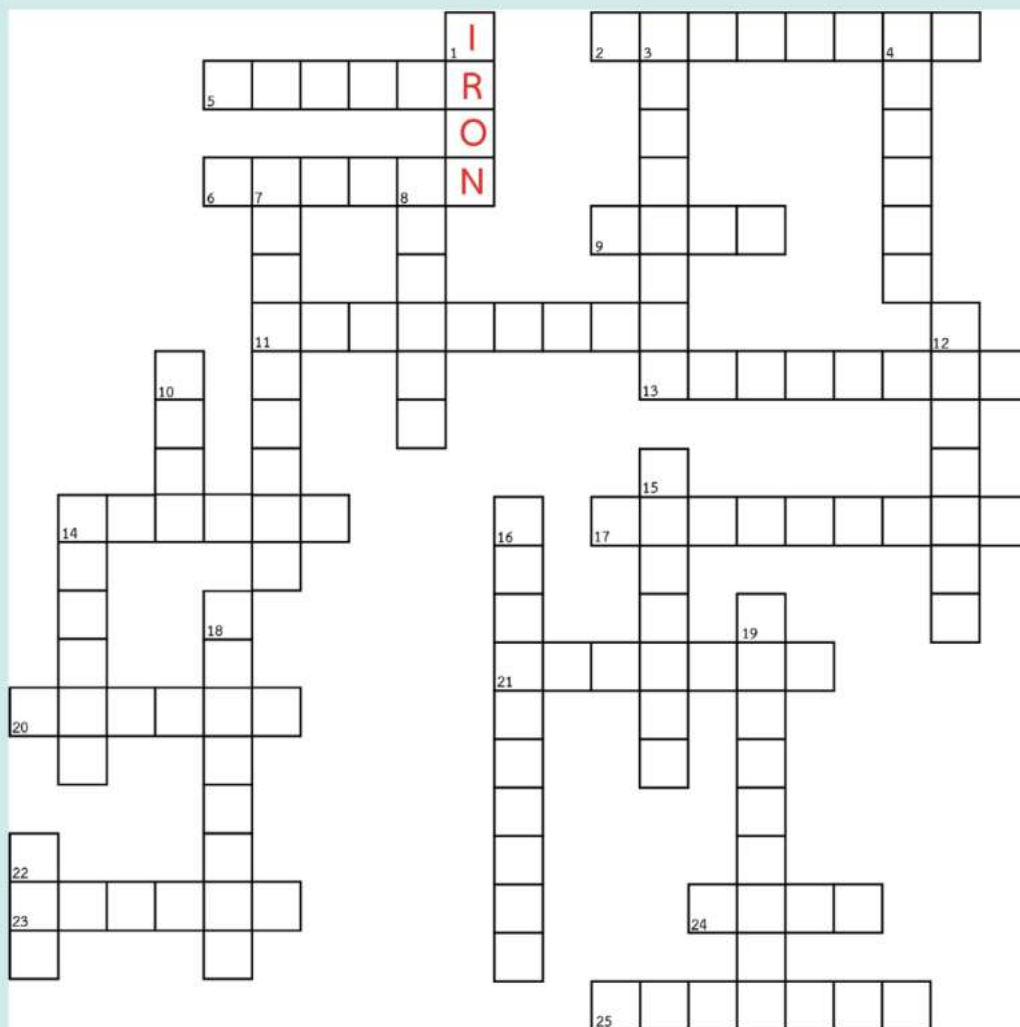
กิจกรรม 2.6 ตามล่าหาธาตุ

จุดประสงค์ของกิจกรรม

ศึกษาการใช้ประโยชน์ของธาตุต่าง ๆ

วิธีทำกิจกรรม

1. แต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ของธาตุ
2. เขียนชื่อธาตุเป็นภาษาอังกฤษในช่องที่กำหนดให้ ซึ่งมีหมายเลขกำกับโดยอาจเป็นแนวตั้งหรือแนวนอน ดังตัวอย่าง



แนวตั้ง

1. ใช้เป็นโครงสร้างในการสร้างบ้าน อาคาร ทำเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักร ใช้ทำรางรถไฟ
3. ใช้ในกระบวนการไฮโดรจีเนชันซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ในสถานะของเหลวจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของจรวด
4. ใช้ชุบโลหะป้องกันการเกิดสนิมและช่วยให้มีผิวแวววาวมากขึ้น ทำถ่านชาร์จ ใช้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาบางประเภท ใช้เป็นสารเคลือบผิวในอุตสาหกรรมเซรามิกส์
7. นำไปทำอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องครัวเครื่องใช้ ห่ออาหาร ห่อของใช้ เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน
8. เป็นแก๊สที่ช่วยในการสันดาป มนุษย์ต้องหายใจเอาแก๊สนี้เข้าไปเพื่อใช้ในกระบวนการเผาผลาญสารอาหารต่าง ๆ ให้เป็นพลังงาน
10. ทำแบตเตอรี่ ทำหัวกระสุน ใช้หุ้มสายเคเบิล สายไฟฟ้า และสายโทรศัพท์ อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากเครื่องเอกซเรย์
12. ใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เทอร์มอมิเตอร์ บารอมิเตอร์ เครื่องมือที่ใช้วัดความดันโลหิต นำมาผสมกับโลหะเงินเพื่อทำวัสดุอุดฟัน
14. ทำเครื่องประดับ เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์การแพทย์
15. ช่วยให้กระดูกและฟันแข็งแรง ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ เป็นธาตุองค์ประกอบในยิปซัม และ หินปูนซึ่งใช้ในการก่อสร้าง
16. ใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ย ใช้ทำไม้ขีดไฟ ระเบิด ประทัด
18. ใช้ผสมในยาสีฟันเพื่อป้องกันฟันผุ ใช้ทำเทฟลอนซึ่งเป็นพลาสติกสำหรับเคลือบกระทะ
19. ใช้ทำสบู่ ปูน ดินประสิวหรือดินปืน
22. นำมาเคลือบโลหะ เช่น เคลือบผิวกระป๋องเหล็ก สำหรับบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม ใช้สำหรับเป็นฟิวส์ตัดวงจรไฟฟ้า ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

แวนอน

2. ใช้ในอุตสาหกรรมฟอสฟอรัส ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาและสระว่ายน้ำ
5. ใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชันซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพของยาง เป็นส่วนผสมของไม้ขีดไฟ ดินปืน และดอกไม้ไฟ
6. เป็นธาตุองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ นิยมนำมาทำเป็นถ่าน ไม้ดินสอ ทำเครื่องประดับ
9. ทำเป็นเครื่องประดับ ที่ครอบฟัน เชื่อมฟัน ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นำมาใช้เป็นชุดนักบินอวกาศและแคปซูลเพื่อป้องกันไม่ให้นักบินอวกาศกระทบกับรังสีในอวกาศที่มีพลังงานสูง
11. ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า ทำถ่านไฟฉาย ทำสี ใช้ทำน้ำยาเคมีและเคมีภัณฑ์ ทำปุ๋ย
13. ใช้เติมในลมยางของรถยนต์บางรุ่น สารประกอบของธาตุนี้ใช้บรรจุในถุงลมนิรภัย ใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ย ถ้ามีสถานะของเหลวจะนำมาใช้ในงานเชื่อมท่อทองแดงเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนในอากาศ
14. เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นสารหล่อเย็นในปฏิกรณ์นิวเคลียร์ นำไปทำเป็นหลอดไฟเพื่อให้แสงสว่างตามท้องถนน
17. นำมาใช้เป็นวัสดุทนความร้อนในเตาเผาวัสดุ ใช้ในเครื่องบิน จรวด โลหะผสมของธาตุนี้นำมาทำล้อแม็ก
20. นำไปใช้บรรจุในบอลลูกและเรือเหาะ นำไปผสมกับออกซิเจนเพื่อใช้เป็นอากาศสำหรับหายใจของนักประดาน้ำ
21. นำไปทำเป็นสารกึ่งตัวนำ ทำเซลล์สุริยะ นำไปผลิตซิลิโคน นำมาผสมกับอะลูมิเนียมเพื่อหล่อทำชิ้นส่วนรถยนต์
23. นำไปละลายในเอทานอลเพื่อทำเป็นยาทาฆ่าเชื้อโรค บางไอโซโทปของธาตุนี้นำมาใช้ในการติดตามการทำงานของไทรอยด์
24. ใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิตยางรถยนต์ ทำเป็นขั้วไฟฟ้าของถ่านไฟฉาย
25. ใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้ในการดับเพลิง ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมและฟอกสี

จากกิจกรรม 2.6 นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับการนำธาตุไปใช้ประโยชน์ ซึ่งประโยชน์ของธาตุต่าง ๆ ในกิจกรรมนี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น ถ้านักเรียนไปสืบค้นเพิ่มเติมจะพบว่าธาตุเหล่านี้ยังนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีกมาก นอกจากธาตุในกิจกรรม 2.6 แล้วยังมีธาตุอื่น ๆ อีกมากที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการนำธาตุมาประยุกต์ใช้นอกจากจะก่อให้เกิดประโยชน์แล้วยังอาจเกิดผลเสียส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้

2.7.2 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

จากความรู้เดิมนักเรียนคงทราบมาแล้วว่า ธาตุบางชนิดส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่วได้ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ โลหะบัดกรีอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมสี หรือใช้เคลือบภาชนะ การปนเปื้อนของตะกั่วทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ถ้าตะกั่วปนเปื้อนในน้ำ อาจส่งผลกระทบต่อระบบการเจริญพันธุ์ ระบบโลหิตและระบบประสาทของสัตว์ในแหล่งน้ำนั้น มนุษย์สามารถนำตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ การบริโภค การหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายจะทำให้มีอาการอ่อนเพลีย ปวดท้อง ท้องอืด เบื่ออาหาร ปวดกล้ามเนื้อ ปวดกระดูกและข้อ ความดันโลหิตสูง โลหิตจาง ความจำเสื่อม ภูมิคุ้มกันต่ำลง และขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในร่างกาย

มนุษย์นำแคดเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม แบตเตอรี่ อะไหล่รถยนต์ การชุบโลหะ แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อากาศ อาหาร พืชผลทางการเกษตร เช่นในใบยาสูบเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลให้ไตทำงานผิดปกติ เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลัง ทำให้กระดูกพรุน หรือเป็นโรคมะเร็งได้

ในอดีตเคยมีการนำแก๊สไฮโดรเจนมาบรรจุในลูกโป่งสวรรค์หรือเรือเหาะ ซึ่งการกระทำดังกล่าวนี้ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุมีผู้ได้รับบาดเจ็บสาหัสหลายคน ที่เป็นเช่นนี้เพราะแก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่ติดไฟได้ ซึ่งเมื่อได้รับประกายไฟจึงเกิดระเบิดเป็นเพลิงลุกไหม้ได้ ตัวอย่างอุบัติเหตุ เช่น ข้าวเพลิงไหม้เรือเหาะไฮโดรเจนเบิร์กของเยอรมันในวังนดสบูบหรือโลก ข้าวไฟไหม้ในงานชกมวยที่ประเทศไทยเนื่องจากการนำลูกโป่งสวรรค์หลายร้อยลูกมาประดับ จากตัวอย่างที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการนำธาตุมาใช้ ล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ธาตุบางชนิดแม้ไม่ได้มีสมบัติเป็นพิษร้ายแรงแต่การนำมาใช้ไม่ถูกวิธีก็ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้เช่นกัน



กิจกรรม 2.7 ประโยชน์และผลกระทบของการใช้ธาตุ

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลการนำธาตุไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
2. นำเสนอข้อมูลการสืบค้นโดยวิธีการสร้างสรรค์และน่าสนใจ

วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลการนำธาตุไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยแต่ละกลุ่มให้สืบค้นอย่างน้อย 5 ธาตุ และไม่ควรซ้ำกับกลุ่มอื่น
2. นำเสนอข้อมูลการสืบค้นโดยวิธีการสร้างสรรค์และน่าสนใจ เช่น การแสดงละคร



แบบฝึกหัด 2.7

จากสถานการณ์ดังรูปจงตอบคำถามต่อไปนี้



1. แต่ละโรงงานใช้ประโยชน์จากธาตุหรือสารประกอบของธาตุประเภทใด
2. หมู่บ้าน ก – จ มีแนวโน้มในการได้รับผลกระทบจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างไร



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาโครงสร้างของอะตอมด้วยการศึกษาข้อมูลและทำการทดลอง จนสามารถเสนอแบบจำลองอะตอมแบบต่าง ๆ ตามข้อมูลที่ค้นพบมากขึ้น แบบจำลองอะตอมมีวิวัฒนาการโดยเริ่มจากดอลตันเสนอว่า ธาตุประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กไม่สามารถแบ่งแยกได้ ต่อมาทอมสันเสนอว่า อะตอมเป็นทรงกลมที่เป็นประจุบวกและมีอิเล็กตรอนกระจายอยู่ทั่วไป รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอว่า อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีขนาดเล็กมากอยู่ตรงกลาง โดยมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ โบร์เสนอว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวงและแต่ละวงมีระดับพลังงานเฉพาะตัว ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเสนอแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกซึ่งแสดงโอกาสการพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส

จากการศึกษาโครงสร้างอะตอมทำให้ทราบว่าโปรตอน อิเล็กตรอน และนิวตรอนเป็นอนุภาคในอะตอม โดยนิวตรอนอยู่ร่วมกับโปรตอนในนิวเคลียส (ยกเว้นอะตอมไฮโดรเจนที่ไม่มีนิวตรอน) จำนวนอนุภาคในอะตอมสามารถเขียนแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์นิวเคลียร์ซึ่งประกอบด้วยสัญลักษณ์ธาตุ จำนวนโปรตอนในอะตอมธาตุที่เรียกว่าเลขอะตอม และผลรวมของจำนวนโปรตอนและนิวตรอนในอะตอมธาตุที่เรียกว่าเลขมวล โดยธาตุต่างชนิดกันมีเลขอะตอมต่างกัน ส่วนธาตุชนิดเดียวกันที่เลขมวลไม่เท่ากันเรียกว่า ไอโซโทป อิเล็กตรอนในอะตอมจะจัดเรียงอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสในระดับพลังงานหลักต่าง ๆ และแต่ละระดับพลังงานหลักยังแบ่งเป็นระดับพลังงานย่อยแตกต่างกันบริเวณที่มีโอกาสพบอิเล็กตรอนเรียกว่า ออร์บิทัล แต่ละออร์บิทัลบรรจุอิเล็กตรอนได้สูงสุด 2 อิเล็กตรอน ในสถานะพื้นอิเล็กตรอนจะจัดเรียงอยู่ในออร์บิทัลที่มีระดับพลังงานต่ำที่สุด

สมบัติของธาตุที่มีทั้งคล้ายกันและแตกต่างกันสามารถนำมาใช้จำแนกธาตุเป็นกลุ่มจนเกิดเป็นตารางธาตุในปัจจุบันซึ่งจัดเรียงธาตุตามเลขอะตอมและสมบัติที่คล้ายคลึงกันเป็นหมู่และคาบ ธาตุในตารางธาตุอาจแบ่งเป็นกลุ่มธาตุโลหะ กึ่งโลหะ และอโลหะ หรือธาตุหมู่หลัก และกลุ่มธาตุแทรนซิชัน ธาตุหมู่หลักหรือธาตุเรพรีเซนต์หรือในหมู่เดียวกันมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน และธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักเดียวกัน ธาตุหมู่หลักมีสมบัติทางเคมีคล้ายกันตามหมู่ และมีแนวโน้มสมบัติบางประการเป็นไปตามหมู่และตามคาบ เช่น ขนาดอะตอม รัศมีไอออน พลังงานไอออไนเซชัน อิเล็กโตรเนกาติวิตี สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน ธาตุแทรนซิชันเป็นโลหะที่ส่วนใหญ่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 มีขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน และมี

จุดเดือด จุดหลอมเหลว และความหนาแน่นสูง เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ช้ากว่าธาตุโลหะในกลุ่มธาตุหมู่หลัก และเมื่อเกิดเป็นสารประกอบส่วนใหญ่จะมีสี

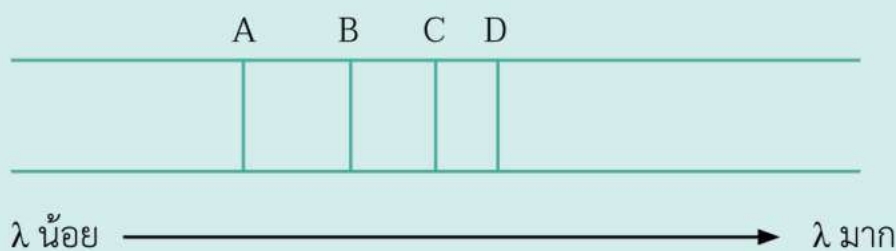
ธาตุในธรรมชาติบางธาตุมีไอโซโทปที่แผ่รังสีได้เรียกว่า ไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือสารกัมมันตรังสี ส่วนธาตุกัมมันตรังสีคือธาตุที่ทุกไอโซโทปสามารถแผ่รังสีได้ โดยการสลายตัวสามารถทำให้เกิดอนุภาคหรือรังสี เช่น แอลฟา บีตา แกมมา ระยะเวลาที่นิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสีสลายตัวจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม เรียกว่า ครึ่งชีวิต ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ไม่ขึ้นกับปริมาณตั้งต้นของไอโซโทปกัมมันตรังสี ไอโซโทปกัมมันตรังสีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการ เช่น หาอายุของวัตถุโบราณ ใช้ในทางการแพทย์ การเกษตร

ธาตุในธรรมชาติสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้การใช้ประโยชน์จากธาตุควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งการทราบแนวโน้มสมบัติของธาตุเป็นพื้นฐานสำคัญที่นำไปสู่การเลือกธาตุไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม

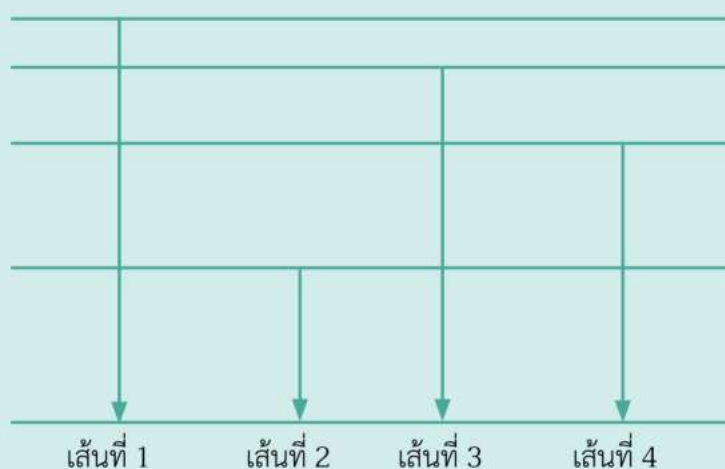


แบบฝึกหัดท้ายบท

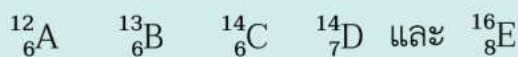
1. วาดรูปพร้อมอธิบายแบบจำลองต่อไปนี้
 - 1.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน
 - 1.2 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน
 - 1.3 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
 - 1.4 แบบจำลองอะตอมของโบร์
 - 1.5 แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะปรากฏในช่วงคลื่นของแสงที่มองเห็นได้หรือไม่ มีความถี่และพลังงานเท่าใด
3. กำหนดข้อมูลเส้นสเปกตรัม เป็นดังนี้



จากข้อมูลการคายพลังงานของอิเล็กตรอนที่กำหนด จงระบุว่าสเปกตรัมเส้นใดคือสเปกตรัม A B C และ D ตามลำดับ



4. พิจารณาสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุสมมติต่อไปนี้



4.1 ธาตุใดเป็นไอโซโทปกัน

4.2 ธาตุใดมีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน

5. ไอโซโทปของธาตุชนิดหนึ่งมีประจุในนิวเคลียสเป็น 3 เท่าของประจุในนิวเคลียสของไฮโดรเจน และมีเลขมวลเป็น 7 เท่าของเลขมวลไฮโดรเจน จงระบุจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของไอโซโทปของธาตุนี้อย่างไร

6. A และ B เป็นไอโซโทปซึ่งกันและกัน ถ้า A มีนิวตรอน = a B มีจำนวนนิวตรอน = b และมีเลขมวล = c ธาตุ A จะมีเลขมวลเท่าใด

7. เลขอะตอมของ Mg = 12 Cl = 17 Ar = 18 K = 19 Ni = 28 จงเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยของ K Ar Mg^{2+} Cl^- Ni และ Ni^+

8. กำหนดธาตุ 5 ธาตุ ซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับ 12 20 23 30 และ 36

8.1 มีธาตุแทรนซิชันทั้งหมดกี่ธาตุ

8.2 ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่าใดจัดอยู่ในกลุ่มของแก๊สมีสกุล

9. จากการทดลองของมิลลิแกน ถ้าพบว่าหยดน้ำมันที่ลอยนิ่งหยดหนึ่งมีค่าประจุเท่ากับ 4.8×10^{-19} คูลอมป์ หยดน้ำมันนี้มีอิเล็กตรอนเกาะอยู่จำนวนเท่าใด

10. กำหนดให้พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1–4 ของธาตุ A B C และ D เป็นดังนี้

ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน (kJ/mol) ลำดับที่			
	1	2	3	4
A	500	4600	6900	9500
B	740	1500	7700	10500
C	900	1800	14800	21000
D	580	1800	2700	11600

10.1 ธาตุใดมีแนวโน้มสูงสุดที่จะเกิดเป็นไอออนซึ่งมีประจุ +1

10.2 ธาตุใดน่าจะมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน

11. ธาตุ X และ Y มีเลขอะตอม 37 และ 38 ตามลำดับ จงเปรียบเทียบสมบัติต่อไปนี้ พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ

11.1 ขนาดอะตอม

11.2 พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1

12. ธาตุฮีเลียมมี 2 อิเล็กตรอน และมีค่า IE_1 เท่ากับ 2.372 เมกะจูลต่อโมล ธาตุโพแทสเซียมมี 19 อิเล็กตรอน และมีค่า IE_1 เท่ากับ 0.419 เมกะจูลต่อโมล เพราะเหตุใด IE_1 ของธาตุฮีเลียมจึงมีค่าสูงกว่าโพแทสเซียม

13. แนวโน้มของค่า IE_1 ของธาตุ K Rb และ Cs ซึ่งมีเลขอะตอม 19 37 และ 55 ตามลำดับ ควรเป็นอย่างไร พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ

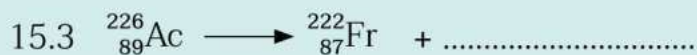
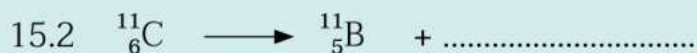
14. A B C D E และ F เป็นธาตุสมมติที่อยู่ในหมู่เดียวกันเรียงลำดับจากบนลงล่าง จงทำนายสมบัติของธาตุดังต่อไปนี้

14.1 ธาตุใดควรมีขนาดอะตอมเล็กที่สุด

14.2 ธาตุใดควรมีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงที่สุด

14.3 ธาตุ E ควรมีพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 สูงหรือต่ำกว่าธาตุ F

15. จงเขียนสมการต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

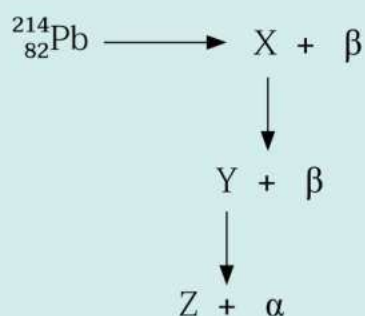


16. ไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งจำนวน 20 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ไอโซโทปนั้นเหลืออยู่ 1.25 กรัม ครึ่งชีวิตของไอโซโทปนี้มีค่าเท่าใด

17. จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 120 วัน จะมีซีเซียม-137 เหลืออยู่ 300 กรัม ถ้าครึ่งชีวิตของซีเซียม-137 เท่ากับ 30 วัน จงหาว่าเมื่อเริ่มต้นมีซีเซียม-137 อยู่เท่าใด

18. จงเขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงเมื่อทอเรียม-232 แผ่รังสีแอลฟา

19. ถ้า Pb -214 สลายตัวให้รังสีต่าง ๆ ดังแผนภาพ



ธาตุ X Y และ Z มีสัญลักษณ์นิวเคลียร์เป็นอย่างไร

20. ยกตัวอย่างประโยชน์และโทษของโลหะปรอทมาอย่างละ 3 ตัวอย่าง



ipst.me/7651

3

| พันธะเคมี



สารในชีวิตประจำวันประกอบด้วยอะตอมหรือไอออนที่อยู่รวมกันด้วยพันธะเคมี



คำถามสำคัญ

1. สารในชีวิตประจำวันมีพันธะเคมีเหมือนหรือต่างกันอย่างไร
2. พันธะเคมีส่งผลต่อสมบัติของสารและการนำไปใช้ประโยชน์อย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เขียนสัญลักษณ์แบบจุดของลิทวีสของธาตุและไอออน และระบุได้ว่าธาตุหรือไอออนนั้นเป็นไปตามกฎออกเตต
2. อธิบายการเกิดไอออนและการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิทวีส
3. อธิบายโครงสร้างของสารประกอบไอออนิก
4. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก
5. คำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไอออนิกจากวัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์
6. อธิบายสมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก
7. เขียนสมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก
8. อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม ด้วยโครงสร้างลิทวีส
9. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์
10. วิเคราะห์และเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะในสารโคเวเลนต์
11. คำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสารโคเวเลนต์จากพลังงานพันธะ
12. คาดคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยใช้ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์
13. เขียนแสดงทิศทางขั้วพันธะและทิศทางขั้วของโมเลกุล รวมทั้งระบุสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์
14. ระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และเปรียบเทียบจุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์
15. สืบค้นข้อมูล อธิบายสมบัติ และนำเสนอตัวอย่างของสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่ายชนิดต่าง ๆ
16. อธิบายการเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะ
17. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ
18. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ ได้อย่างเหมาะสม



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. จับคู่การจัดเรียงอิเล็กตรอนของอะตอมและไอออนที่กำหนดให้ต่อไปนี้

..... 1.1 P	ก. $1s^2 2s^2 2p^6$
..... 1.2 K	ข. $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$
..... 1.3 I^-	ค. $[\text{Kr}] 5s^2 4d^{10} 5p^6$
..... 1.4 Cl^-	ง. $[\text{Ne}] 3s^2 3p^6 4s^1$
..... 1.5 Al^{3+}	จ. $[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$

2. ใส่เครื่องหมาย ☒ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และใส่เครื่องหมาย ☐ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

..... 2.1 อะตอม Cl มีขนาดใหญ่กว่าไอออน Cl^-
..... 2.2 ไอออน K^+ มีขนาดเล็กกว่าไอออน Cl^-
..... 2.3 ธาตุสมมติ A B และ C อยู่ในหมู่เดียวกันเรียงจากบนลงล่างของตารางธาตุ ธาตุสมมติ A มีขนาดอะตอมใหญ่ที่สุด
..... 2.4 ธาตุที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^8$ มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8
..... 2.5 ไอออน O^{2-} มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนมากกว่าไอออน Na^+
..... 2.6 ธาตุที่มีเลขอะตอม 12 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2
..... 2.7 ธาตุ Be Mg และ Ca มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน
..... 2.8 ไอออน K^+ มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น 2 8 8 2
..... 2.9 ธาตุ Na มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำกว่าธาตุ Cl
..... 2.10 ค่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 เรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $\text{N} > \text{O} > \text{F}$ และ $\text{O} > \text{S} > \text{Se}$

สารในชีวิตประจำวัน เช่น แก๊สออกซิเจน (O_2) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต น้ำ (H_2O) เป็นของเหลวที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค เกลือแกง ($NaCl$) เป็นของแข็งที่ใช้ในการประกอบอาหาร สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปอะตอมเดี่ยว แต่ประกอบด้วยหลายอะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรืออะตอมต่างชนิดกัน การยึดเหนี่ยวกันของอะตอมหรือไอออนในสาร เรียกว่า **พันธะเคมี** (chemical bond)

3.1 สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสและกฎออกเตต

จากการศึกษาเรื่องอะตอมและสมบัติของธาตุทำให้ทราบว่า เวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสูงสุดหรือชั้นนอกสุดของอะตอม เช่น ธาตุคาร์บอนมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยเป็น $1s^2 2s^2 2p^2$ ดังนั้นธาตุคาร์บอนมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 ทั้งนี้การเกิดพันธะเคมีเกี่ยวข้องกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนของคู่อะตอมที่ร่วมสร้างพันธะกัน

เวเลนซ์อิเล็กตรอนของธาตุอาจแสดงด้วยจุด สัญลักษณ์ที่แสดงธาตุและเวเลนซ์อิเล็กตรอนของธาตุ เรียกว่า **สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส** (Lewis dot symbol) ซึ่งเสนอโดย กิลเบิร์ต นิวตัน ลิวอิส⁶

สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสใช้จุดแสดงจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนรอบสัญลักษณ์ของธาตุ ดังรูป 3.1 โดยเขียนจุดเดี่ยวทั้ง 4 ด้านรอบสัญลักษณ์ของธาตูก่อน แล้วจึงเติมจุดให้เป็นคู่ (ยกเว้นธาตุฮีเลียมที่มี 2 เวเลนซ์อิเล็กตรอน จะเขียนเป็นจุดคู่อยู่ด้านเดียวกัน)

IA	IIA		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
H·								He:
Li·	·Be·		·B·	·C·	:N·	:O:	:F:	:Ne:
Na·	·Mg·		·Al·	·Si·	:P·	:S:	:Cl:	:Ar:
K·	·Ca·		·Ga·	·Ge·	:As·	:Se:	:Br:	:Kr:
Rb·	·Sr·		·In·	·Sn·	:Sb·	:Te:	:I:	:Xe:
Cs·	·Ba·		·Tl·	·Pb·	:Bi·	:Po:	:At:	:Rn:
Fr·	·Ra·							

รูป 3.1 สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสของธาตุหมู่หลัก

⁶กิลเบิร์ต นิวตัน ลิวอิส (Gilbert Newton Lewis) นักเคมีชาวอเมริกัน ผู้เสนอสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส

ธาตุต่าง ๆ ส่วนใหญ่ไม่เสถียรในรูปอะตอมเดี่ยว ยกเว้นธาตุในหมู่ VIIIA (หมู่ 18) หรือที่เรียกว่า แก๊สมีสกุล ที่พบอยู่ในรูปอะตอมเดี่ยว ซึ่งมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 ยกเว้นฮีเลียมซึ่งมี 2 เวเลนซ์อิเล็กตรอน

นอกจากนี้นักเคมียังพบว่า อะตอมของธาตุอื่น ๆ มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเพื่อที่จะทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 จึงมีการสรุปเป็นหลักการที่เรียกว่า **กฎออกเตต (octet rule)**



ตรวจสอบความเข้าใจ

1. เขียนสัญลักษณ์แบบจุดของลิทมิสของไอออน Ca^{2+}
2. สัญลักษณ์แบบจุดของลิทมิสของธาตุสมมติต่อไปนี้ : $\dot{\text{X}}$: เป็นของธาตุหมู่ใด
3. สัญลักษณ์แบบจุดของลิทมิสในข้อ 1 และ 2 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นไปตามกฎออกเตตหรือไม่

สารที่ไม่อยู่ในรูปอะตอมเดี่ยว มีพันธะเคมียึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือไอออน โดยที่อะตอมของธาตุอาจมีการให้อิเล็กตรอน รับอิเล็กตรอน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ทำให้เกิดพันธะเคมี 3 ประเภท ได้แก่ พันธะไอออนิก พันธะโคเวเลนต์ และพันธะโลหะ

3.2 พันธะไอออนิก

สารที่เกิดจากธาตุโลหะกับธาตุอโลหะ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) มีสมบัติบางประการคล้ายกัน และสารเหล่านี้มีการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่เหมือนกัน



ความรู้เพิ่มเติม

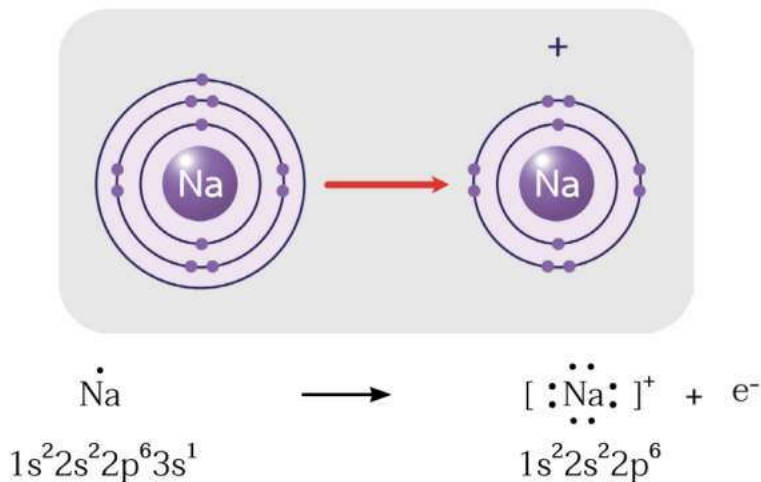
ธาตุโลหะกับธาตุอโลหะบางชนิดอาจไม่ได้เกิดเป็นพันธะไอออนิก เช่น AlCl_3 BeCl_2

3.2.1 การเกิดพันธะไอออนิก

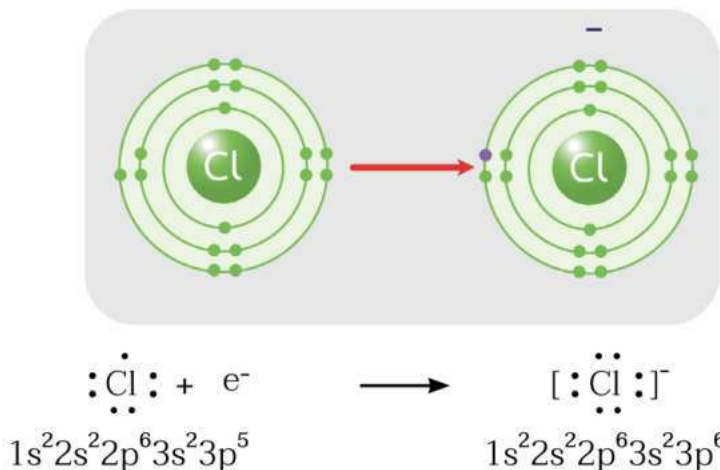
ธาตุโลหะมีพลังงานไอออไนเซชันต่ำจึงเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวกได้ง่าย ส่วนธาตุอโลหะมีค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนสูง จึงรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบ ไอออนบวกและไอออนลบมีประจุไฟฟ้าต่างกันจึงยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า **พันธะไอออนิก** (ionic bond) และเรียกสารที่เกิดจากพันธะไอออนิกว่า **สารประกอบไอออนิก** (ionic compound) ซึ่งสารประกอบไอออนิกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นไปตามกฎออกเตต ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การอธิบายการเกิดพันธะไอออนิกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นดังนี้

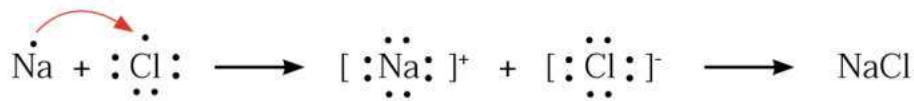
ธาตุโซเดียม (Na) เป็นธาตุโลหะ มีเลขอะตอม 11 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 การที่โซเดียมจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตตได้นั้น โซเดียมจะเสียอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน เกิดเป็นโซเดียมไอออน (Na^+) ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6$ เหมือนกับธาตุนีออน ดังนี้



ธาตุคลอรีน (Cl) เป็นธาตุอโลหะ มีเลขอะตอม 17 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 การที่คลอรีนจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตตได้นั้น คลอรีนจะต้องรับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน เกิดเป็นคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ เหมือนกับธาตุอาร์กอน ดังนี้



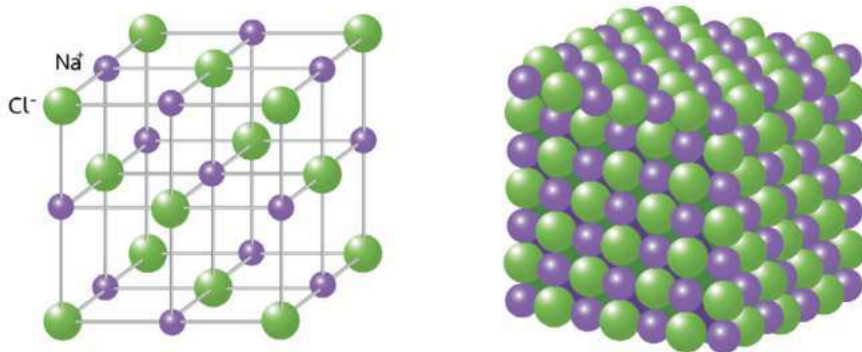
เมื่อโซเดียมให้ 1 เวเลนซ์อิเล็กตรอนแก่คลอรีน และคลอรีนรับ 1 เวเลนซ์อิเล็กตรอนจากโซเดียม จะเกิดเป็นโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน เมื่อไอออนทั้งสองยึดเหนี่ยวกันจะเกิดเป็นสารประกอบ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนแผนภาพแสดงการให้และรับอิเล็กตรอนของอะตอมธาตุในการเกิดสารประกอบ แมกนีเซียมฟลูออไรด์ (MgF_2) โดยใช้แบบจำลองอะตอมของโบร์และสัญลักษณ์แบบจุดของ ลิวอิส

สารประกอบไอออนิกในสถานะของแข็งอยู่ในรูปของผลึกที่มีไอออนบวกและไอออนลบยึดเหนี่ยว กันด้วยพันธะไอออนิกอย่างต่อเนื่องกันไปทั้งสามมิติเป็นโครงผลึก และไม่อยู่ในรูปโมเลกุล เช่น โครงผลึก ของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ดังรูป 3.2

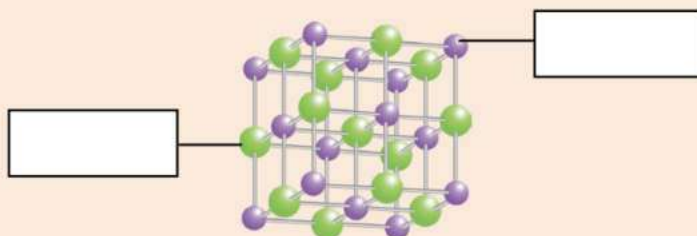


รูป 3.2 โครงผลึกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์

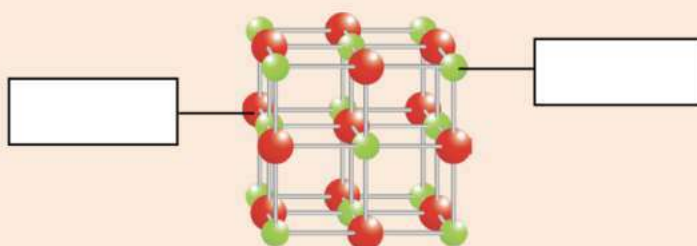


แบบฝึกหัด 3.1

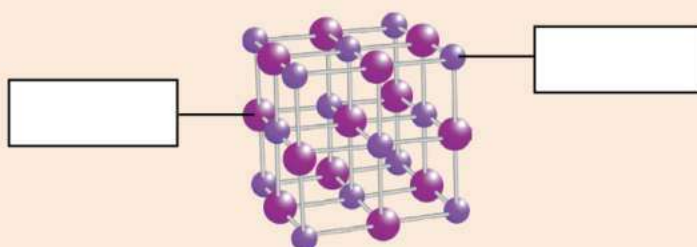
1. เขียนแสดงการให้และรับอิเล็กตรอนในการเกิดสารประกอบระหว่างธาตุแต่ละคู่ต่อไปนี้ โดยใช้สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส
 - 1.1 ลิเทียมกับคลอรีน
 - 1.2 ซีเซียมกับกำมะถัน
 - 1.3 แบเรียมกับไอโอดีน
 - 1.4 แคลเซียมกับออกซิเจน
2. ระบุชนิดของไอออนในโครงสร้างผลึกของสารประกอบที่กำหนดให้



สารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)



สารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)



3.2.2 สูตรเคมีและชื่อของสารประกอบไอออนิก

สารประกอบไอออนิกประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบที่มีประจุต่าง ๆ กัน ซึ่งมีผลต่ออัตราส่วนการรวมของไอออนและสูตรของสารประกอบไอออนิก โดยประจุของไอออนธาตุหมู่หลักเป็นบวกตามจำนวนอิเล็กตรอนที่ให้อิหรือเป็นลบตามจำนวนอิเล็กตรอนที่รับเพื่อทำให้มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนของไอออนเป็นไปตามกฎออกเตต ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตัวอย่างการจัดเรียงอิเล็กตรอนของอะตอมและไอออนของธาตุบางชนิด

อะตอม (การจัดเรียงอิเล็กตรอน)		ไอออน (การจัดเรียงอิเล็กตรอน)	
Na	$(1s^2 2s^2 2p^6 3s^1)$	Na^+	$(1s^2 2s^2 2p^6)$
Ca	$(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2)$	Ca^{2+}	$(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$
Al	$(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1)$	Al^{3+}	$(1s^2 2s^2 2p^6)$
Cl	$(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5)$	Cl^-	$(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$
O	$(1s^2 2s^2 2p^4)$	O^{2-}	$(1s^2 2s^2 2p^6)$
N	$(1s^2 2s^2 2p^3)$	N^{3-}	$(1s^2 2s^2 2p^6)$

หมายเหตุ ตัวอักษรตัวหนาของการจัดเรียงอิเล็กตรอนแสดงเวเลนซ์อิเล็กตรอน

จากตาราง 3.1 ธาตุโซเดียมซึ่งเป็นธาตุหมู่ IA เมื่อเกิดเป็นไอออนบวกจะมีประจุเป็น +1 ธาตุแคลเซียมซึ่งเป็นธาตุหมู่ IIA เมื่อเกิดเป็นไอออนบวกจะมีประจุเป็น +2 และธาตุอะลูมิเนียมซึ่งเป็นธาตุหมู่ IIIA เมื่อเกิดเป็นไอออนบวกจะมีประจุเป็น +3 ดังนั้น ธาตุหมู่ IA IIA และ IIIA เมื่อเป็นไอออนจะเป็นไอออนบวกที่มีประจุตามเลขหมู่

ธาตุคลอรีนซึ่งเป็นธาตุหมู่ VIIA เมื่อเกิดเป็นไอออนลบจะมีประจุเป็น -1 ธาตุออกซิเจนซึ่งเป็นธาตุหมู่ VIA เมื่อเกิดเป็นไอออนลบจะมีประจุเป็น -2 และธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุหมู่ VA เมื่อเกิดเป็นไอออนลบจะมีประจุเป็น -3 ดังนั้น ธาตุหมู่ VA VIA และ VIIA เมื่อเป็นไอออนจะเป็นไอออนลบที่มีประจุ $X - 8$ เมื่อ X คือเลขหมู่ของธาตุโลหะ

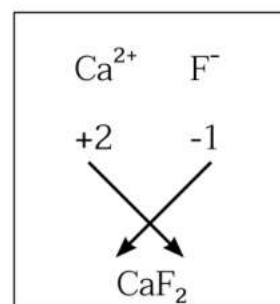


ชวนคิด

1. ในสารประกอบหลายชนิด ธาตุไฮโดรเจนเกิดเป็นไอออน H^+ การเกิดไอออนนี้ของธาตุไฮโดรเจนสอดคล้องกับการเกิดประจุของธาตุหมู่ใด
2. ในสารประกอบไอออนิกบางชนิด ธาตุไฮโดรเจนอาจเป็นไอออน H^- การเกิดไอออนนี้ของธาตุไฮโดรเจนสอดคล้องกับการเกิดประจุของธาตุหมู่ใด
3. จากสมบัติการเกิดประจุในข้อ 1 และ 2 ควรจัดธาตุไฮโดรเจนให้อยู่ในตำแหน่งใดของตารางธาตุ เพราะเหตุใด

การที่โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกมีไอออนบวกและไอออนลบยึดเหนี่ยวอย่างต่อเนื่องกันไปทั้งสามมิติเป็นโครงผลึก ไม่สามารถแยกเป็นโมเลกุลได้ ดังนั้นจึงใช้สูตรเคมีแสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนไอออนที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งทำให้ผลรวมของประจุเป็นศูนย์

การเขียนสูตรสารประกอบไอออนิกจะเขียนสัญลักษณ์ของธาตุที่เป็นไอออนบวกไว้ข้างหน้าตามด้วยไอออนลบ และแสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของไอออนที่เป็นองค์ประกอบโดยเขียนตัวเลขอารบิกห้อยท้ายไอออนนั้น ทั้งนี้ในกรณีที่จำนวนไอออนเป็น 1 ไม่ต้องเขียน เช่น สารประกอบไอออนิกที่เกิดจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) กับฟลูออไรด์ไอออน (F^-) มีอัตราส่วนประจุของ Ca^{2+} ต่อ F^- เป็น 2 ต่อ 1 ซึ่งเมื่อทำให้ผลรวมของประจุเป็นศูนย์ จะได้อัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวน Ca^{2+} ต่อ F^- เป็น 1:2 ดังนั้น สูตรสารประกอบเป็น CaF_2



สูตรสารประกอบไอออนิกบางชนิดแสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ตัวอย่างสูตรสารประกอบไอออนิกบางชนิด (X แทนโลหะ Y แทนอโลหะ)

โลหะหมู่	ประจุไอออน	อโลหะหมู่	ประจุไอออน	สูตรเคมี	ตัวอย่าง
IA	+1	VIIA	-1	XY	NaCl KI
IA	+1	VIA	-2	X_2Y	Na_2S Li_2O
IIA	+2	VIIA	-1	XY_2	$MgCl_2$ CaI_2
IIA	+2	VIA	-2	XY	BaO MgS
IIIA	+3	VIIA	-1	XY_3	AlF_3
IIIA	+3	VIA	-2	X_2Y_3	Al_2O_3

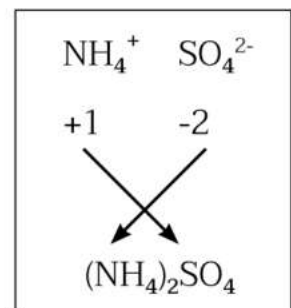


ตรวจสอบความเข้าใจ

สารประกอบไอออนิกที่เกิดจากธาตุ X ซึ่งอยู่หมู่ IIA กับธาตุ Y ซึ่งอยู่หมู่ VA จะมีสูตรเคมีเป็นอย่างไร

ไอออนบางชนิดเกิดจากกลุ่มอะตอม การเขียนสูตรสารประกอบจะใช้หลักการเดียวกับไอออนบวกและไอออนลบที่เกิดจากธาตุ

เช่น สูตรสารประกอบไอออนิกที่เกิดจากแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) กับซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) มีอัตราส่วนประจุของ NH_4^+ ต่อ SO_4^{2-} เป็น 1 ต่อ 2 ซึ่งเมื่อทำให้ผลรวมของประจุเป็นศูนย์ จะได้อัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวน NH_4^+ ต่อ SO_4^{2-} เป็น 2:1 ดังนั้น สูตรสารประกอบเป็น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



ความรู้เพิ่มเติม

สูตรสารประกอบไอออนิกบางชนิดโดยเฉพาะเกลือของสารอินทรีย์อาจเขียนสลับลำดับไอออนบวกและไอออนลบได้ เช่น CH_3ONa หรือ NaOCH_3

สารประกอบไอออนิกเกิดจากไอออนบวกและไอออนลบ ดังนั้นการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิกจึงจำเป็นต้องทราบชื่อของไอออนบวกและไอออนลบ โดยชื่อของไอออนบวกเรียกตามชื่อธาตุแล้วลงท้ายด้วยคำว่า ไอออน ส่วนไอออนลบเรียกชื่อธาตุโดยเปลี่ยนท้ายเสียงเป็น ได์ (-ide) แล้วลงท้ายด้วยคำว่า ไอออน ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ตัวอย่างชื่อไอออนบวกและไอออนลบของธาตุ

ไอออนบวก	ไอออนลบ
Na^+ โซเดียมไอออน (sodium ion)	Cl^- คลอไรด์ไอออน (chloride ion)
K^+ โพแทสเซียมไอออน (potassium ion)	Br^- โบรไมด์ไอออน (bromide ion)
Mg^{2+} แมกนีเซียมไอออน (magnesium ion)	S^{2-} ซัลไฟด์ไอออน (sulfide ion)
Ca^{2+} แคลเซียมไอออน (calcium ion)	H^- ไฮไดรด์ไอออน (hydride ion)
Al^{3+} อะลูมิเนียมไอออน (aluminium ion)	O^{2-} ออกไซด์ไอออน (oxide ion)
	N^{3-} ไนไตรด์ไอออน (nitride ion)

จากตาราง 3.3 จะเห็นว่า ชื่อไอออนลบของธาตุไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน มีการตัดคำว่า เจน ออก ก่อนเปลี่ยนท้ายเสียงเป็น ได์

ไอออนที่เป็นกลุ่มอะตอมมีชื่อเรียกเฉพาะ โดยกลุ่มอะตอมที่เป็นไอออนบวกลงท้ายด้วย -ียม (-ium) ส่วนกลุ่มอะตอมที่เป็นไอออนลบอาจลงท้ายเสียงด้วย ได์ (-ide) ไต์ (-ite) หรือ -เต (-ate) ดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 ตัวอย่างชื่อไอออนบวกและไอออนลบที่เป็นกลุ่มอะตอม

ไอออน	ชื่อไอออน
NH_4^+	แอมโมเนียมไอออน (ammonium ion)
OH^-	ไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide ion)
CN^-	ไซยาไนด์ไอออน (cyanide ion)
NO_2^-	ไนไตรต์ไอออน (nitrite ion)
NO_3^-	ไนเตรตไอออน (nitrate ion)
HCO_3^-	ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (hydrogen carbonate ion)
CO_3^{2-}	คาร์บอเนตไอออน (carbonate ion)
HSO_4^-	ไฮโดรเจนซัลเฟตไอออน (hydrogen sulfate ion)
SO_4^{2-}	ซัลเฟตไอออน (sulfate ion)
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	ไทโอซัลเฟตไอออน (thiosulfate ion)
HPO_4^{2-}	ไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (hydrogen phosphate ion)
H_2PO_4^-	ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (dihydrogen phosphate ion)
PO_4^{3-}	ฟอสเฟตไอออน (phosphate ion)

ชื่อสารประกอบไอออนิกได้จากการเรียกชื่อไอออนบวกแล้วตามด้วยชื่อไอออนลบโดยตัดคำว่า ไอออน ออก ดังตาราง 3.5

ตาราง 3.5 ตัวอย่างชื่อสารประกอบไอออนิกบางชนิด

สารประกอบ	การเรียกชื่อ	สารประกอบ	การเรียกชื่อ
KCN	โพแทสเซียมไซยาไนด์ (potassium cyanide)	NH ₄ Cl	แอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride)
K ₂ O	โพแทสเซียมออกไซด์ (potassium oxide)	NaHCO ₃	โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (sodium hydrogen carbonate)
CaF ₂	แคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride)	Mg(OH) ₂	แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (magnesium hydroxide)
NaNO ₂	โซเดียมไนไตรต์ (sodium nitrite)	Ba ₃ (PO ₄) ₂	แบเรียมฟอสเฟต (barium phosphate)
NaNO ₃	โซเดียมไนเตรต (sodium nitrate)	Al ₂ (SO ₄) ₃	อะลูมิเนียมซัลเฟต (aluminium sulfate)

นอกจากโลหะธาตุหมู่หลักแล้ว โลหะทรานซิชันสามารถเกิดเป็นไอออนได้เหมือนหรือต่างจากโลหะธาตุหมู่หลักหรือไม่ อย่างไร

ธาตุโลหะบางชนิดสามารถเกิดเป็นไอออนบวกที่มีประจุได้หลายค่า ดังรูป 3.3 โดยเฉพาะธาตุโลหะทรานซิชัน เช่น Cu สามารถเกิดเป็นไอออนบวกที่มีประจุ +1 และ +2 เมื่อเกิดสารประกอบไอออนิกกับ O จะได้เป็น Cu₂O และ CuO ตามลำดับ ค่าที่แสดงประจุไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าสมมติของไอออนหรืออะตอมของธาตุเรียกว่า **เลขออกซิเดชัน** (oxidation number) ดังนั้นในสารประกอบ Cu₂O และ CuO เลขออกซิเดชันของ Cu เป็น +1 และ +2 ตามลำดับ

IA	IIA		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
Li ⁺					N ³⁻	O ²⁻	F ⁻
Na ⁺	Mg ²⁺		Al ³⁺		P ³⁻	S ²⁻	Cl ⁻
K ⁺	Ca ²⁺	โลหะทรานซิชันอาจเกิดไอออน มากกว่า 1 ชนิด เช่น Cr ²⁺ Cr ³⁺ Mn ²⁺ Mn ³⁺ Fe ²⁺ Fe ³⁺ Co ²⁺ Co ³⁺ Cu ⁺ Cu ²⁺	Ga ³⁺		As ³⁻	Se ²⁻	Br ⁻
Rb ⁺	Sr ²⁺		In ³⁺	Sn ²⁺ Sn ⁴⁺	Sb ³⁻	Te ²⁻	I ⁻
Cs ⁺	Ba ²⁺		Tl ³⁺	Pb ²⁺ Pb ⁴⁺	Bi ³⁻		

รูป 3.3 ไอออนบวกและไอออนลบของธาตุบางธาตุในตารางธาตุ

ข้อสารประกอบที่เกิดจากโลหะที่มีเลขออกซิเดชันมากกว่า 1 ค่า ต้องระบุตัวเลขประจุหรือเลขออกซิเดชันของไอออนโลหะนั้นเป็นเลขโรมันในวงเล็บ ดังตาราง 3.6

ตาราง 3.6 ตัวอย่างชื่อสารประกอบไอออนิกที่เกิดจากโลหะที่มีเลขออกซิเดชันหลายค่า

ไอออนบวก		ไอออนลบ		สูตร	ชื่อสารประกอบไอออนิก
ไอออน	ชื่อไอออน	ไอออน	ชื่อไอออน		
Cu^+	คอปเปอร์(I)ไอออน copper(I) ion	S^{2-}	ซัลไฟด์ไอออน sulfide ion	Cu_2S	คอปเปอร์(I)ซัลไฟด์ copper(I) sulfide
Cu^{2+}	คอปเปอร์(II)ไอออน copper(II) ion	S^{2-}	ซัลไฟด์ไอออน sulfide ion	CuS	คอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ copper(II) sulfide
Ti^{3+}	ไทเทเนียม(III)ไอออน titanium(III) ion	Cl^-	คลอไรด์ไอออน chloride ion	TiCl_3	ไทเทเนียม(III)คลอไรด์ titanium(III) chloride
Ti^{4+}	ไทเทเนียม(IV)ไอออน titanium(IV) ion	Cl^-	คลอไรด์ไอออน chloride ion	TiCl_4	ไทเทเนียม(IV)คลอไรด์ titanium(IV) chloride
Mn^{2+}	แมงกานีส(II)ไอออน manganese(II) ion	O^{2-}	ออกไซด์ไอออน oxide ion	MnO	แมงกานีส(II)ออกไซด์ manganese(II) oxide
Mn^{7+}	แมงกานีส(VII)ไอออน manganese(VII) ion	O^{2-}	ออกไซด์ไอออน oxide ion	Mn_2O_7	แมงกานีส(VII)ออกไซด์ manganese(VII) oxide
Fe^{2+}	ไอรอน(II)ไอออน iron(II) ion	OH^-	ไฮดรอกไซด์ไอออน hydroxide ion	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	ไอรอน(II)ไฮดรอกไซด์ iron(II) hydroxide
Fe^{3+}	ไอรอน(III)ไอออน iron(III) ion	OH^-	ไฮดรอกไซด์ไอออน hydroxide ion	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	ไอรอน(III)ไฮดรอกไซด์ iron(III) hydroxide
Pb^{2+}	เลด(II)ไอออน lead(II) ion	NO_3^-	ไนเตรตไอออน nitrate ion	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	เลด(II)ไนเตรต lead(II) nitrate



แบบฝึกหัด 3.2

1. กำหนดให้ธาตุ X Y และ Z เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ IA VIA และ VIIA ตามลำดับ เขียนสูตรสารประกอบไอออนิกที่เกิดจากธาตุต่อไปนี้

1.1 X กับ Y

1.2 X กับ Z

2. เรียกชื่อสารประกอบไอออนิกต่อไปนี้

2.1 NH_4CN

2.4 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

2.2 Na_2HPO_4

2.5 Fe_2O_3

2.3 $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$

3. เขียนสูตรและชื่อของสารประกอบไอออนิกที่เกิดจากไอออนบวกและไอออนลบที่กำหนดให้ต่อไปนี้

ข้อ	ไอออนบวก	ไอออนลบ	สูตร	ชื่อสารประกอบ
3.1	Ba^{2+}	S^{2-}		
3.2	Al^{3+}	OH^-		
3.3	Na^+	SO_4^{2-}		
3.4	Ca^{2+}	CO_3^{2-}		
3.5	NH_4^+	PO_4^{3-}		

4. เขียนสูตรและชื่อของสารประกอบไอออนิกจากไอออนที่กำหนดให้ต่อไปนี้

4.1 Pb^{2+} และ Pb^{4+} กับ Cl^-

4.2 Mn^{2+} และ Mn^{4+} กับ O^{2-}

4.3 Sn^{2+} และ Sn^{4+} กับ SO_4^{2-}

5. เขียนสูตรสารประกอบไอออนิกที่กำหนดให้ต่อไปนี้

5.1 ลิเทียมคาร์บอเนต (lithium carbonate)

5.2 ไอร์รอน(III)ไนเตรต (iron(III) nitrate)

5.3 คอปเปอร์(II)ซัลเฟต (copper(II) sulfate)

5.4 อะลูมิเนียมฟอสเฟต (aluminium phosphate)

5.5 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide)

3.2.3 พลังงานกับการเกิดสารประกอบไอออนิก

ปฏิกิริยาเคมีนอกจากจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีแล้ว ส่วนใหญ่ยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานด้วย ซึ่ง**พลังงานการเกิด** (heat of formation) ของสารประกอบสามารถหาได้จากการทดลองในการทำปฏิกิริยาระหว่างธาตุ เช่น การเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์จากโลหะโซเดียมทำปฏิกิริยากับแก๊สคลอรีนเกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์ มีการคายพลังงาน 412 กิโลจูลต่อโมล ดังสมการ



ศัพท์น่ารู้

โมล (mole) เป็นหน่วยของปริมาณสาร โดยสาร 1 โมลมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค ซึ่งอนุภาคของสารอาจเป็นอะตอม โมเลกุล หรือไอออน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่พิจารณา



ความรู้เพิ่มเติม

ค่าพลังงานของปฏิกิริยาที่มีเครื่องหมายลบหน้าตัวเลขค่าพลังงาน แสดงว่าปฏิกิริยานั้นเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน (exothermic reaction) ถ้าเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน (endothermic reaction)



ชวนคิด

พลังงานที่เกิดจากการรวมตัวกันของโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนมีค่าเหมือนหรือต่างจากค่าพลังงานการเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ เพราะเหตุใด

ปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องกับการสลายพันธะและการสร้างพันธะ ซึ่งการสลายพันธะเป็นกระบวนการดูดพลังงาน ในขณะที่การสร้างพันธะเป็นกระบวนการคายพลังงาน ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวกันของไอออนบวกและไอออนลบเกิดเป็นสารประกอบไอออนิกเป็นปฏิกิริยาคายพลังงานเนื่องจากการสร้างพันธะไอออนิก

พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวกันของไอออนบวกและไอออนลบในสารประกอบไอออนิกเรียกว่า **พลังงานโครงผลึก** (lattice energy) ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถทำการทดลองโดยนำไอออนบวกและไอออนลบที่บริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากันได้ ค่าพลังงานดังกล่าวจึงได้จากการคำนวณ โดยอาศัยขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาย่อย ๆ หลายขั้นตอน ตาม**วัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์** (Born – Haber cycle)⁷ โดยมีสมมติฐานว่า พลังงานรวมในแต่ละขั้นตอนจะเท่ากับพลังงานในการเกิดสารประกอบไอออนิก เช่น การเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ 1 โมล ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. โลหะโซเดียมสถานะของแข็งระเหิดกลายเป็นแก๊ส ดูดพลังงาน 107 กิโลจูลต่อโมล เรียกพลังงานที่ใช้ในขั้นนี้ว่า **พลังงานการระเหิด** (heat of sublimation)



2. อะตอมของโซเดียมในสถานะแก๊สเสียอิเล็กตรอนกลายเป็น Na^+ ดูดพลังงาน 496 กิโลจูลต่อโมล เรียกพลังงานที่ใช้ในขั้นนี้ว่า **พลังงานไอออไนเซชัน** (ionization energy)



3. โมเลกุลแก๊สคลอรีนสลายพันธะ $\text{Cl}-\text{Cl}$ ได้อะตอมคลอรีน 2 อะตอมในสถานะแก๊ส ดูดพลังงานเท่ากับ 242 กิโลจูลต่อโมล เรียกพลังงานที่ใช้ในขั้นนี้ว่า **พลังงานพันธะ** (bond energy)



⁷แมกซ์ บอร์น (Max Born) และฟริตซ์ ฮาเบอร์ (Fritz Haber) ชาวเยอรมัน ผู้เสนอวัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์

แต่เนื่องจาก NaCl 1 โมล ประกอบด้วย Cl^- 1 โมลไอออน ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในขั้นนี้จะเป็นครึ่งหนึ่งของพลังงานการสลายพันธะต่อโมลของ Cl_2 นั่นคือจะใช้พลังงานเพียง 121 กิโลจูล



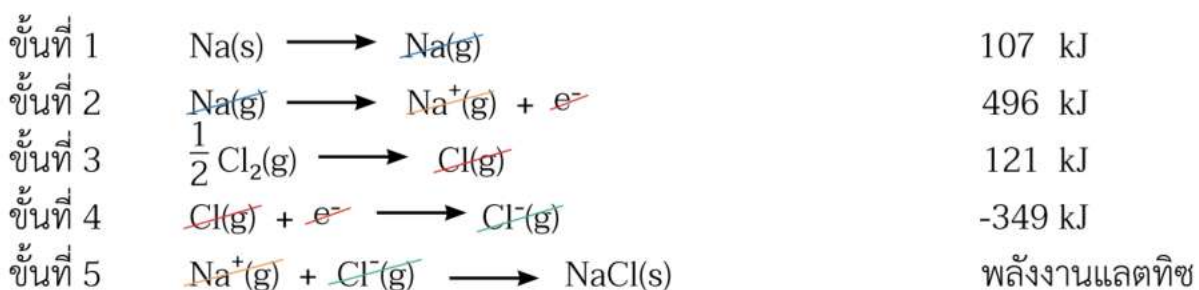
4. อะตอมคลอรีนในสถานะแก๊สเมื่อรับอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอมโซเดียมแล้วกลายเป็น Cl^- จะคายพลังงาน 349 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งพลังงานที่ได้ในขั้นนี้สัมพันธ์กับสัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (electron affinity)



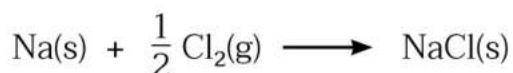
5. เมื่อโซเดียมไอออนกับคลอไรด์ไอออนในสถานะแก๊สยึดกันเป็นผลึกโซเดียมคลอไรด์จะคายพลังงานออกมา พลังงานที่ได้ในขั้นนี้เรียกว่า พลังงานโครงผลึก หรือพลังงานแลตทิซ (lattice energy)



เมื่อรวมสมการของปฏิกิริยาย่อยทั้ง 5 ขั้น จะเหลือ Na และ Cl_2 เป็นสารตั้งต้น และเหลือ NaCl เป็นผลิตภัณฑ์ โดยสารอื่น ๆ และอิเล็กตรอนจะหักล้างกันหมด ดังนี้



ซึ่งปฏิกิริยารวมที่ได้เหมือนกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ ดังสมการ



และมีค่าพลังงานรวม = $107 + 496 + 121 + (-349) + \text{พลังงานแลตทิซ}$

เนื่องจากพลังงานการเกิดสารประกอบไฮเดียมคลอไรด์ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลองมีค่าเป็น -412 กิโลจูลต่อโมล ดังนั้นสามารถคำนวณค่าพลังงานแลตทิซได้ดังนี้

$$-412 = 107 + 496 + 121 + (-349) + \text{พลังงานแลตทิซ}$$

$$\text{พลังงานแลตทิซ} = -787 \text{ kJ/mol}$$

ค่าพลังงานแลตทิซที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่าการรวมตัวกันของไฮเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนทำให้เกิดการคายพลังงานในทางตรงกันข้ามการสลายพันธะระหว่างไฮเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในโครงผลึกของไฮเดียมคลอไรด์จะเป็นกระบวนการดูดพลังงานซึ่งจะมีเครื่องหมายหน้าค่าพลังงานเป็นบวก



ความรู้เพิ่มเติม

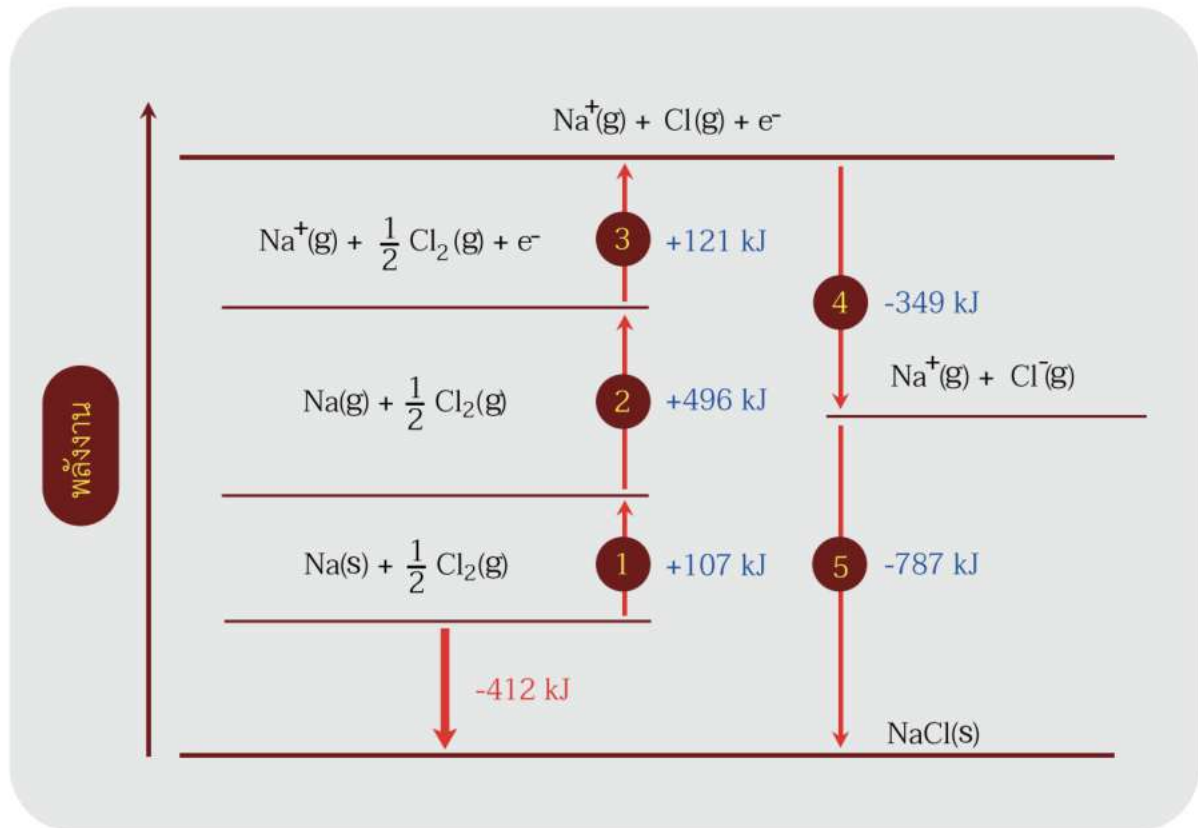
ค่าพลังงานแลตทิซนิยมแสดงค่าเป็นบวก เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงผลึกแต่ละชนิด และความเข้าใจตรงกันในการนำค่าพลังงานไปใช้คำนวณร่วมกับพลังงานอื่น



ชวนคิด

เพราะเหตุใดพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะระหว่างไอออนบวกและไอออนลบในสารประกอบไอออนิกจึงเรียกว่า พลังงานแลตทิซ แทนที่จะเรียกว่า พลังงานพันธะ

วัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์ของการเกิดสารประกอบไฮเดียมคลอไรด์ อาจเขียนเป็นแผนภาพเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้ดังรูป 3.4



รูป 3.4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ 1 โมล

จากรูป 3.4 จะเห็นว่า พลังงานที่ได้จากขั้นตอนคายพลังงานมีค่ามากกว่าพลังงานที่ได้จากขั้นตอนดูดพลังงาน จึงทำให้การเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน



ตรวจสอบความเข้าใจ

ขั้นตอนใดในรูป 3.4 สัมพันธ์กับพลังงานที่กำหนดให้ต่อไปนี้

- พลังงานพันธะ Cl-Cl
- พลังงานแลตทิซของ NaCl
- พลังงานการระเหิดของโลหะ Na
- สัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของ Cl
- พลังงานไอออไนเซชันของ Na



ชวนคิด

แผนภาพวัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์ของการเกิดสารประกอบไฮเดียมคลอไรด์สามารถเขียนโดยสลับขั้นตอนให้ต่างจากรูป 3.4 ได้หรือไม่ อย่างไร



แบบฝึกหัด 3.3

1. ปฏิกริยาในข้อใดใช้พลังงานเท่ากับพลังงานแลตทิซของสารประกอบลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF)



2. กำหนดค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องกับซีเซียมและฟลูออรีนดังนี้

ชนิดของพลังงาน	ค่าของพลังงาน (kJ/mol)
พลังงานแลตทิซของ CsF	759
สัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของ F	328
พลังงานการระเหิดของ Cs	76
พลังงานพันธะของ F_2	159
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของ Cs	376

จากข้อมูล ตอบคำถามต่อไปนี้

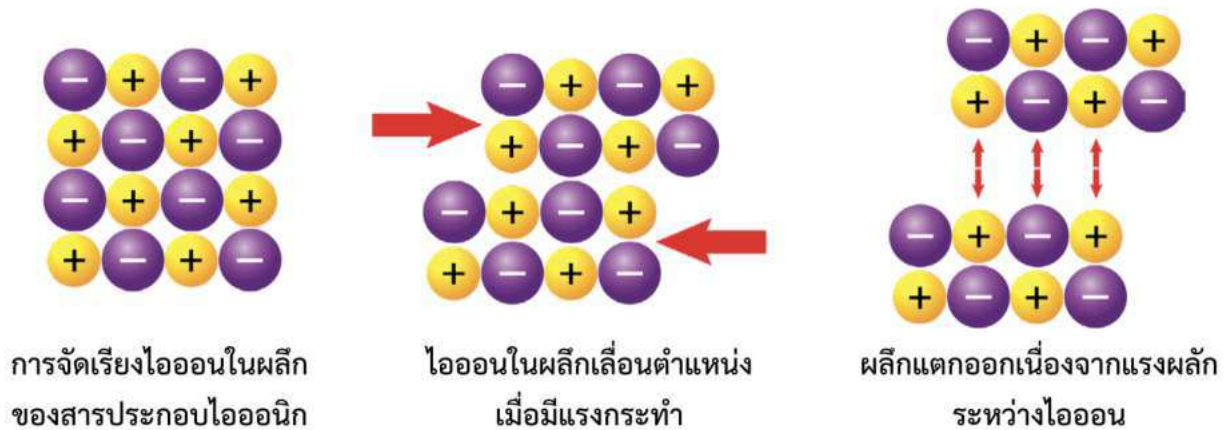
2.1 เขียนสมการของปฏิกิริยาและสมการของปฏิกิริยาย่อยของการเกิดสารประกอบ พร้อมทั้งระบุว่าแต่ละขั้นตอนดูดพลังงานหรือคายพลังงาน

2.2 คำนวณพลังงานการเกิดสารประกอบซีเซียมฟลูออไรด์ พร้อมทั้งระบุว่าปฏิกิริยาดูดพลังงานหรือคายพลังงาน

2.3 เขียนแผนภาพวัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์ของการเกิดสารประกอบซีเซียมฟลูออไรด์

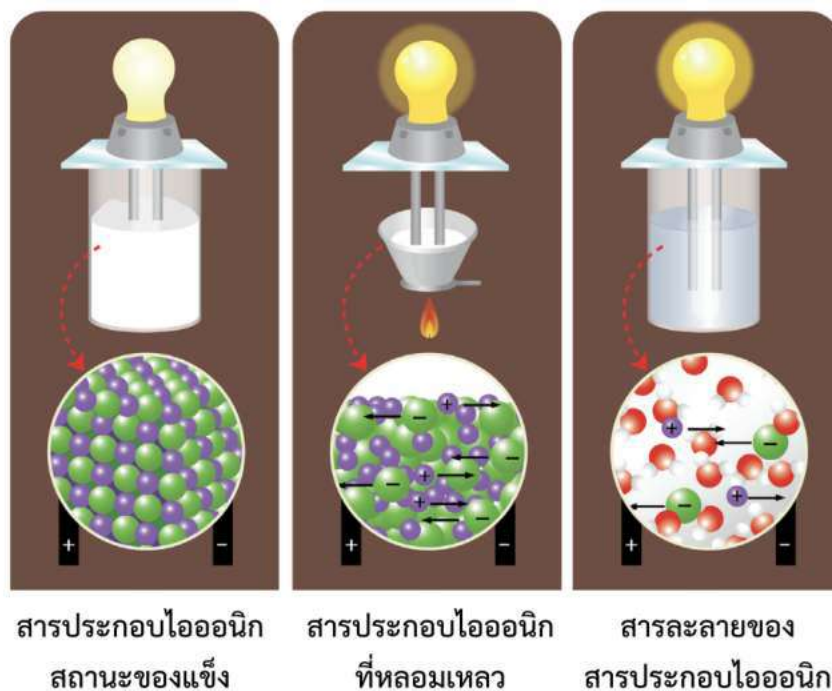
3.2.4 สมบัติของสารประกอบไอออนิก

สารประกอบไอออนิกส่วนใหญ่เป็นผลึกที่แข็งเนื่องจากการยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงระหว่างไอออนบวกและไอออนลบ แต่ผลึกของสารประกอบไอออนิกมีความเปราะ แตกหักได้ง่าย เนื่องจากการเลื่อนตำแหน่งเพียงเล็กน้อยของไอออนเมื่อมีแรงกระทำ อาจทำให้ไอออนชนิดเดียวกันเลื่อนไกลไปอยู่ตำแหน่งตรงกัน จึงเกิดแรงผลักระหว่างกัน ดังรูป 3.5



รูป 3.5 การจัดเรียงไอออนของสารประกอบไอออนิกเมื่อมีแรงกระทำ

พิจารณารูป 3.6 เพราะเหตุใดสารประกอบไอออนิกสถานะของแข็งไม่นำไฟฟ้าแต่เมื่อหลอมเหลวหรือละลายในน้ำจะสามารถนำไฟฟ้าได้



รูป 3.6 การนำไฟฟ้าของสารประกอบไอออนิก

สารประกอบไอออนิกสถานะของแข็งไม่นำไฟฟ้า เนื่องจากไอออนที่เป็นองค์ประกอบยึดเหนี่ยวกันอย่างแข็งแรงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อหลอมเหลวหรือละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากไอออนสามารถเคลื่อนที่ได้

สารประกอบไอออนิกมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ และสารละลายของสารประกอบไอออนิกในน้ำส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเบสหรือกลาง โดยสารละลายของสารประกอบออกไซด์มีสมบัติเป็นเบส และสารละลายของสารประกอบคลอไรด์มีสมบัติเป็นกลาง ดังตาราง 3.7

ตาราง 3.7 สมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก

สารประกอบ	สถานะ	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	สภาพละลายได้ในน้ำ ณ อุณหภูมิ 20 °C (g/น้ำ 100 g)	สมบัติความเป็นกรด-เบส เมื่อเป็นสารละลายในน้ำ
CaO	ของแข็ง	2572	2850	-	เบส
NaCl	ของแข็ง	801	1465	35.9	กลาง
CaCl ₂	ของแข็ง	772	1600	74.5	กลาง
Al ₂ O ₃	ของแข็ง	2054	2980	ไม่ละลาย	-

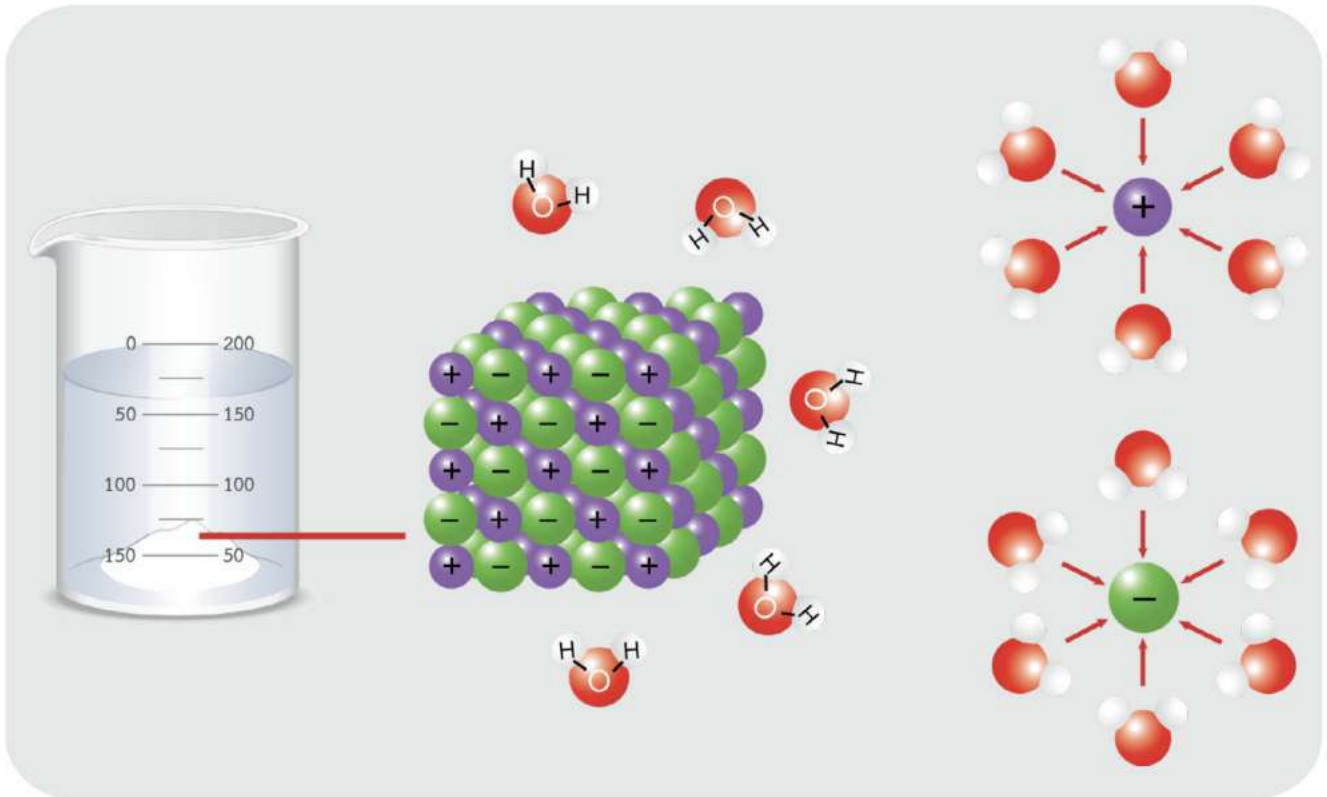


ความรู้เพิ่มเติม

สภาพละลายได้ (solubility) คือ ความสามารถในการละลายของสารในตัวทำละลาย จนเป็นสารละลายอิ่มตัว โดยทั่วไปสภาพละลายได้ในน้ำแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่

- **ละลายได้ดี** หมายถึง ละลายได้มากกว่า 1 กรัมในน้ำ 100 กรัม
- **ละลายได้บ้างหรือละลายได้น้อย** หมายถึง ละลายได้มากกว่า 0.1 กรัมแต่ไม่เกิน 1 กรัมในน้ำ 100 กรัม
- **ไม่ละลาย** หมายถึง ละลายได้น้อยกว่า 0.1 กรัมในน้ำ 100 กรัม

การละลายน้ำของสารประกอบไอออนิกเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ไอออนบวกและไอออนลบแยกออกจากโครงผลึกและกระบวนการที่โมเลกุลของน้ำล้อมรอบไอออนแต่ละชนิด เมื่อสารละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออน สารละลายที่ได้เรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังรูป 3.7



รูป 3.7 การละลายน้ำของสารประกอบไอออนิก

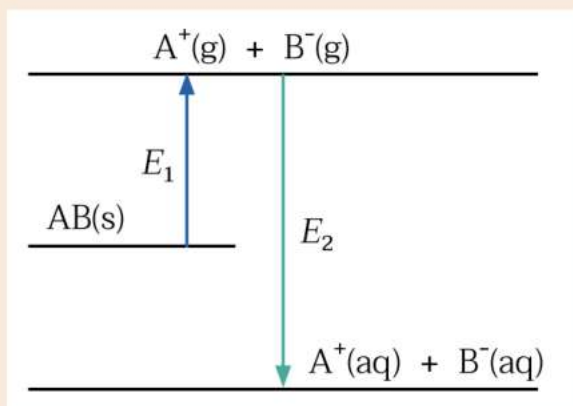
กระบวนการที่ไอออนบวกและไอออนลบแยกออกจากโครงผลึกเป็นกระบวนการดูดพลังงานที่มีค่าเท่ากับพลังงานแลตทิซ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนกระบวนการที่โมเลกุลของน้ำล้อมรอบไอออนแต่ละชนิดเป็นกระบวนการคายพลังงานที่เรียกว่า **พลังงานไฮเดรชัน** (hydration energy)

ถ้าค่าพลังงานแลตทิซน้อยกว่าค่าพลังงานไฮเดรชัน การละลายจะเป็นกระบวนการคายพลังงาน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นและสารจะละลายได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ในทางกลับกันถ้าค่าพลังงานแลตทิซมากกว่าค่าพลังงานไฮเดรชัน การละลายจะเป็นกระบวนการดูดพลังงาน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของสารละลายลดลง และสารจะละลายได้ดีที่อุณหภูมิสูง ในกรณีที่ค่าพลังงานแลตทิซมากกว่าค่าพลังงานไฮเดรชันมาก ๆ สารอาจละลายได้น้อยมากหรือไม่ละลาย

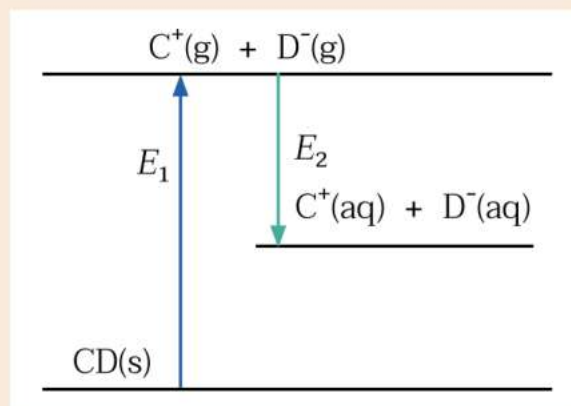


ชวนคิด

พิจารณาแผนภาพการละลายน้ำของสารประกอบไอออนิกต่อไปนี้



(ก)



(ข)

1. พลังงานแลตทิซและพลังงานไฮเดรชันคือค่าใดในแผนภาพ
2. การละลายน้ำในแผนภาพใดเป็นกระบวนการดูดพลังงานและแผนภาพใดเป็นกระบวนการคายพลังงาน เพราะเหตุใด



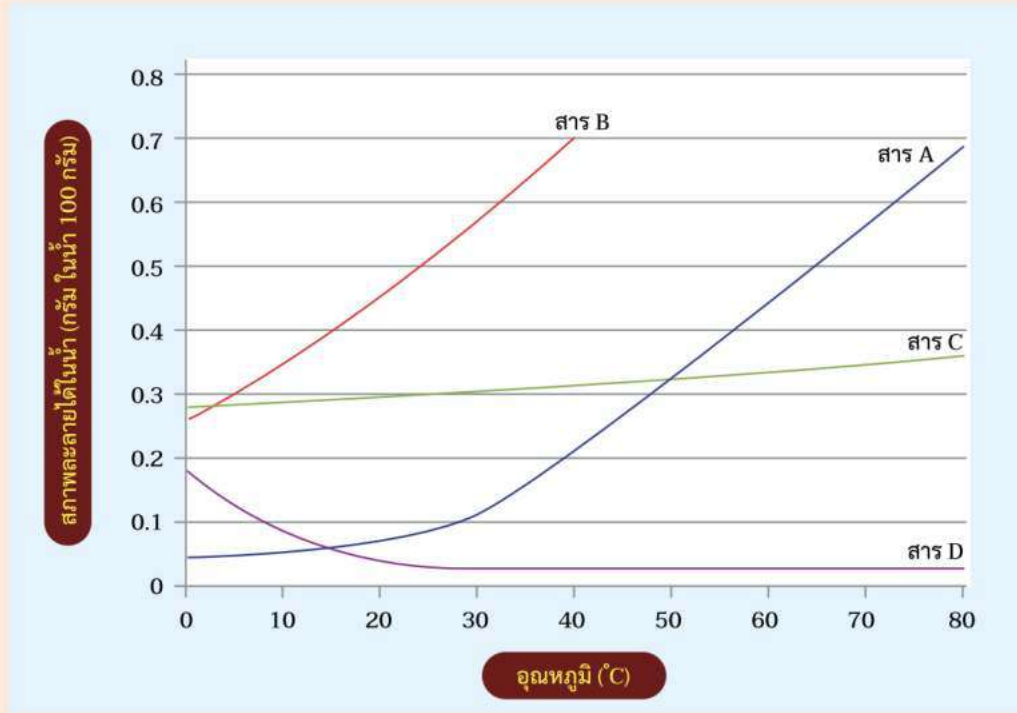
แบบฝึกหัด 3.4

1. เมื่อละลายลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) และโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำก่อนละลายและอุณหภูมิของสารละลายเป็นดังนี้

สารประกอบไอออนิก	อุณหภูมิ (°C)	
	น้ำ	สารละลาย
LiBr	28	33
KBr	28	24

- 1.1 การละลายน้ำของลิเทียมโบรไมด์และโพแทสเซียมโบรไมด์เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแบบใด
- 1.2 สารใดมีพลังงานแลตทิซมากกว่าพลังงานไฮเดรชัน เพราะเหตุใด

2. จากกราฟการละลายของสารประกอบไอออนิกในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังรูป



ตอบคำถามต่อไปนี้

- 2.1 การละลายน้ำของสารใดเป็นกระบวนการดูดพลังงาน
 - 2.2 การละลายน้ำของสารใดเป็นกระบวนการคายพลังงาน
 - 2.3 สารใดมีพลังงานแลตทิซมากกว่าพลังงานไฮเดรชัน
 - 2.4 สารใดเมื่อละลายน้ำแล้วอุณหภูมิสูงขึ้น
3. การละลายน้ำของซิลเวอร์ไนเทรต (AgNO_3) มีค่าพลังงานแลตทิซเป็น 822 กิโลจูลต่อโมล และมีค่าพลังงานไฮเดรชันเป็น 799 กิโลจูลต่อโมล
- 3.1 เขียนแผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเกิดสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต
 - 3.2 การละลายน้ำของซิลเวอร์ไนเทรตเป็นกระบวนการดูดพลังงานหรือคายพลังงาน ปริมาณเท่าใด

3.2.5 สมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิ

การผสมสารละลายของสารประกอบไอออนิกสองชนิดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ สังเกตได้อย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 3.1



กิจกรรม 3.1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายของสารประกอบไอออนิก
2. ระบุสารละลายคู่ที่เกิดปฏิกิริยาแล้วได้ตะกอน
3. ระบุไอออนที่ทำปฏิกิริยาแล้วได้ตะกอน และเขียนสูตรเคมีของตะกอน

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

- | | |
|--|--|
| 1. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) | 6. สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) |
| 2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) | 7. แผ่นพลาสติกใส |
| 3. สารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) | 8. กระดาษสี |
| 4. สารละลายโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) | 9. หลอดหยด |
| 5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) | |

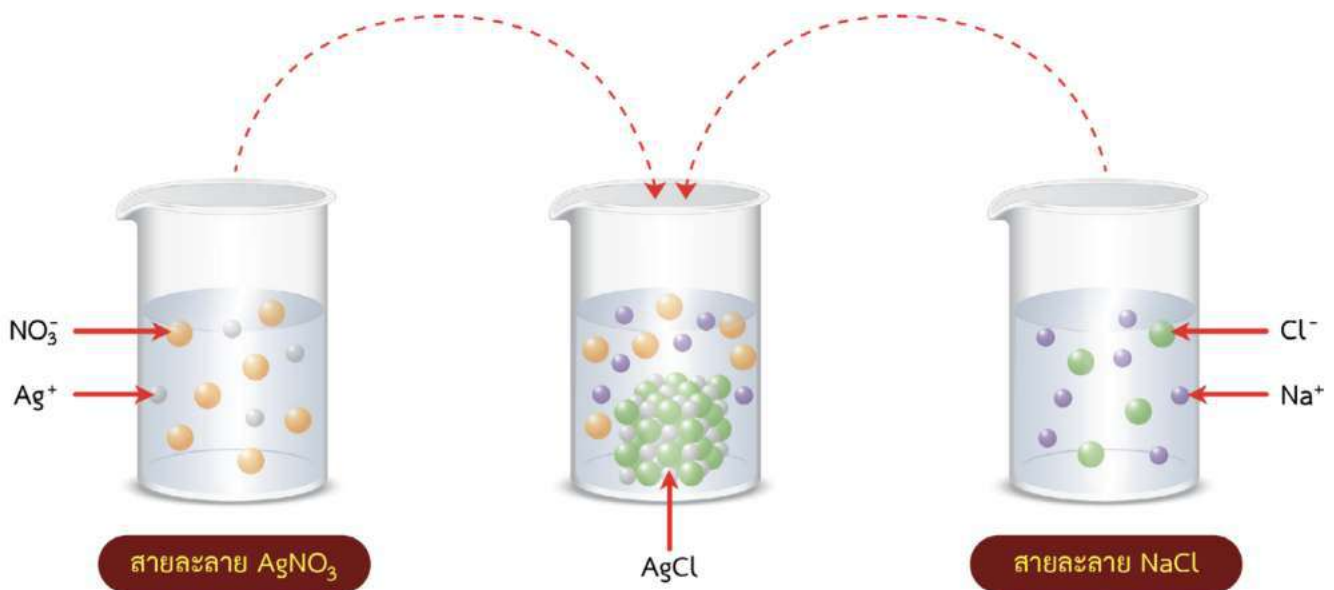
วิธีทดลอง

1. เขียนตารางขนาด 3×3 ตารางเซนติเมตร จำนวน 9 ช่อง ลงบนกระดาษสี และนำแผ่นพลาสติกใสวางบนกระดานสี
2. หยด CaCl_2 ลงบนแผ่นพลาสติกใส 3 ช่อง ช่องละ 1 หยด กำหนดให้เป็นช่อง ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ
3. หยด Na_2CO_3 Na_2SO_4 และ NaNO_3 อย่างละ 1 หยด ลงบน CaCl_2 ในช่องที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ สังเกตการเปลี่ยนแปลง
4. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนสารละลายในข้อ 1 จาก CaCl_2 เป็น NH_4Cl และ MgCl_2

คำถามท้ายการทดลอง

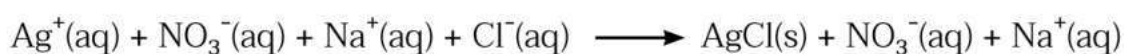
1. ตัวแปรต้นและตัวแปรตามของการทดลองนี้คืออะไร
2. สารละลายคู่ใดบ้างที่ทำให้เกิดตะกอน
3. ไอออนใดที่ทำปฏิกิริยาแล้วได้ตะกอน และตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นสารใด

จากที่ทราบแล้วว่า สารประกอบไอออนิกเมื่อละลายน้ำ ไอออนบวกและไอออนลบจะแยกออกจากกัน ถ้าการผสมสารละลายของสารประกอบไอออนิกทำให้เกิดตะกอน แสดงว่าไอออนในสารละลายผสมทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารใหม่ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ซิลเวอร์ไนเทรต (AgNO_3) เมื่อละลายน้ำจะได้ Ag^+ และ NO_3^- ถ้านำมาผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งมี Na^+ และ Cl^- จะได้ตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังรูป 3.8



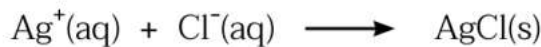
รูป 3.8 ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ปฏิกิริยาการเกิดตะกอนของสารประกอบไอออนิกในน้ำ อาจเขียนแทนด้วย สมการไอออนิก (ionic equation) ที่แสดงไอออนในสารละลายครบทุกชนิด เช่น ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เขียนสมการไอออนิกได้ดังนี้



ไอออนในสมการของปฏิกิริยาที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย แสดงสถานะของไอออนเป็น aq ซึ่งมาจากคำว่า aqueous solution

เนื่องจากในสมการไอออนิกมีไอออนที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน ปรากฏอยู่ทั้งด้านซ้ายและขวาของสมการ ซึ่งสามารถตัดออกจากสมการให้เหลือเฉพาะไอออนที่ทำปฏิกิริยากันได้เป็นผลิตภัณฑ์ เรียกว่า **สมการไอออนิกสุทธิ** (net ionic equation) ดังนี้



ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนสมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาของสารละลายคู่ที่ทำให้เกิดตะกอน ในกิจกรรม 3.1 และพิจารณาว่าสมการที่เขียนมีจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิดทางด้านซ้ายและขวาของสมการเท่ากันหรือไม่ ในกรณีที่ไม่ว่ากันให้เติมตัวเลขสัมประสิทธิ์ข้างหน้าสารเพื่อให้เท่ากัน

การอธิบายหรือการทำนายปฏิกิริยาการเกิดตะกอนของสารละลายของสารประกอบไอออนิกสามารถพิจารณาได้จากสมบัติการละลายน้ำ ตามหลักการเบื้องต้นดังนี้

สารประกอบที่ละลายน้ำ

- สารประกอบของโลหะแอลคาไล และแอมโมเนียมทุกชนิด
- สารประกอบไนเตรต คลอเรต เปอร์คลอเรต แอซีเตต
- สารประกอบคลอไรด์ โบรไมด์ ไอโอไดด์ (ยกเว้นสารประกอบของ Ag^+ Pb^{2+} Hg_2^{2+} ไม่ละลาย ส่วน PbCl_2 ละลายได้น้อย)
- สารประกอบซัลเฟต (ยกเว้นสารประกอบของ Pb^{2+} Sr^{2+} Ba^{2+} ส่วนสารประกอบของ Ca^{2+} และ Ag^+ ละลายได้น้อย)

สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ

- สารประกอบออกไซด์ของโลหะ (ยกเว้นออกไซด์ของโลหะแอลคาไล และออกไซด์ของ Ca^{2+} Sr^{2+} Ba^{2+})
- สารประกอบไฮดรอกไซด์ (ยกเว้นไฮดรอกไซด์ของโลหะแอลคาไล แอมโมเนียม และของ Sr^{2+} Ba^{2+} ส่วนของ Ca^{2+} ละลายได้น้อย)
- สารประกอบคาร์บอเนต ฟอสเฟต ซัลไฟด์ และซัลไฟต์ (ยกเว้นสารประกอบของแอมโมเนียม และของโลหะแอลคาไล)



แบบฝึกหัด 3.5

- สารละลายที่กำหนดให้คู่ใดที่ผสมกันแล้วเกิดตะกอน เขียนสมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิ พร้อมทั้งระบุชื่อของตะกอนที่เกิดขึ้น
 - 1.1 LiCl กับ AgNO_3
 - 1.2 KI กับ $\text{Pb(NO}_3)_2$
 - 1.3 NH_4Cl กับ Ca(OH)_2
 - 1.4 Na_3PO_4 กับ MgCl_2
- จากสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้

KCl Na_2SO_4 CaSO_4 BaCO_3 Mg(OH)_2 MgSO_4
 AgNO_3 BaCl_2 NaHCO_3

 - 2.1 สารชนิดใดไม่ละลายน้ำ
 - 2.2 สารละลายคู่ใดที่ผสมกันแล้วได้ตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) และเขียนสมการไอออนิกสุทธิ
- ตะกอนที่กำหนดให้ได้จากการผสมสารละลายใดได้บ้าง
 - 3.1 Ag_3PO_4
 - 3.2 MgCO_3
 - 3.3 PbBr_2
- น้ำกระด้างมีไอออน Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} ละลายอยู่ เมื่อทำการทดสอบน้ำตัวอย่าง 2 ชนิด โดยหยดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอช (Na_2CO_3) ได้ผลการทดลองดังตาราง

น้ำตัวอย่าง	ผลการทดลอง
1	มีตะกอนสีขาวเกิดขึ้น
2	ไม่เปลี่ยนแปลง

- 4.1 น้ำตัวอย่างใดน่าจะเป็นน้ำกระด้าง เพราะเหตุใด
- 4.2 เขียนสูตรเคมีของตะกอนที่เกิดขึ้น

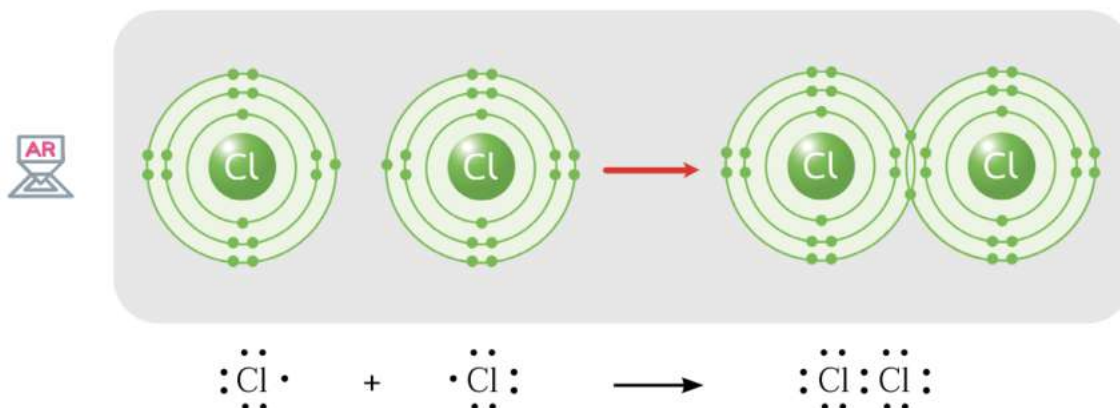
3.3 พันธะโคเวเลนต์

สารที่เกิดจากธาตุอโลหะรวมตัวกัน เช่น แก๊สออกซิเจน (O_2) แก๊สไนโตรเจน (N_2) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของธาตุในสารเหล่านี้เป็นพันธะไอออนิกหรือไม่ เพราะเหตุใด

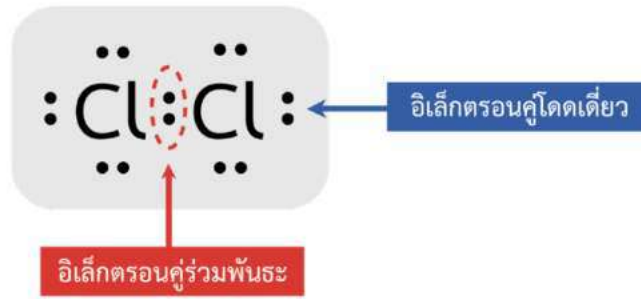
3.3.1 การเกิดพันธะโคเวเลนต์

ธาตุอโลหะมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันเรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า **พันธะโคเวเลนต์** (covalent bond) และเรียกสารที่อะตอมยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ว่า **สารโคเวเลนต์** (covalent compound) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปโมเลกุล โดยการเกิดพันธะในโมเลกุลโคเวเลนต์ส่วนใหญ่เป็นไปตามกฎออกเตต ดังตัวอย่างต่อไปนี้

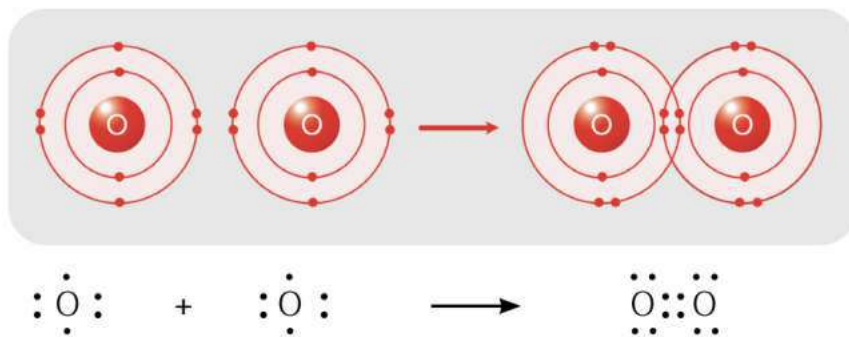
ธาตุคลอรีน (Cl) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 (มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$) ดังนั้นคลอรีนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เพื่อให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



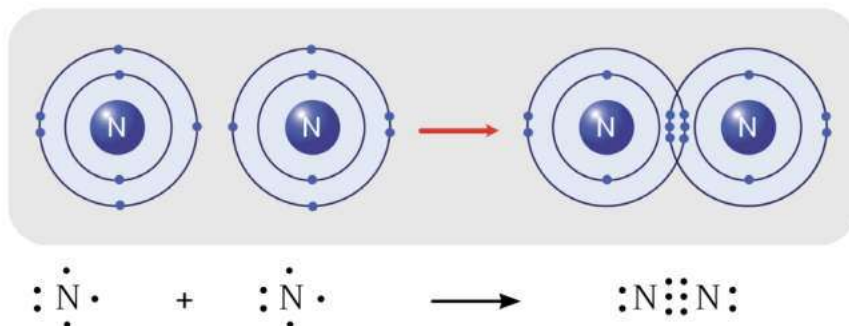
พันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลแก๊สคลอรีนเกิดจากการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เรียกพันธะนี้ว่า **พันธะเดี่ยว** (single bond) โดยอิเล็กตรอนคู่ที่ใช้ร่วมกันในการเกิดพันธะเรียกว่า **อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ** (bond pair electrons) ส่วนอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่ได้เกิดพันธะเรียกว่า **อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว** (lone pair electrons) ซึ่งในโมเลกุลแก๊สคลอรีนมีอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 6 คู่



การเกิดพันธะในโมเลกุลแก๊สออกซิเจน (O_2) ออกซิเจนแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 6 ดังนั้นออกซิเจนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต เกิดพันธะโคเวเลนต์แบบ **พันธะคู่** (double bond) เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



นอกจากนี้ พันธะโคเวเลนต์ยังอาจเป็น **พันธะสาม** (triple bond) เช่น ในโมเลกุลแก๊สไนโตรเจน (N_2) ไนโตรเจนแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 5 ดังนั้นไนโตรเจนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าพันธะโคเวเลนต์เกิดได้ทั้งพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม การเกิดพันธะโคเวเลนต์สามารถเขียนแสดงได้ด้วย **โครงสร้างลิวอิส** (Lewis structure) ซึ่งแสดงอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยจุดหรือเส้น และแสดงอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของแต่ละอะตอมด้วยจุด โดยทั่วไปนิยมแสดงพันธะในโมเลกุลโดยใช้เส้น 1 เส้น (–) 2 เส้น (=) และ 3 เส้น (≡) แทนอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ 2 คู่ และ 3 คู่ ตามลำดับ โครงสร้างลิวอิสของโมเลกุลโคเวเลนต์แสดงดังตาราง 3.8

ตาราง 3.8 ตัวอย่างโครงสร้างลิวอิสของโมเลกุลโคเวเลนต์บางชนิด

สาร	โครงสร้างลิวอิส	
แก๊สคลอรีน (Cl_2)	$\text{:}\ddot{\text{Cl}}\text{:}\ddot{\text{Cl}}\text{:}$	$\text{:}\ddot{\text{Cl}}-\ddot{\text{Cl}}\text{:}$
แก๊สออกซิเจน (O_2)	$\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}$	$\text{:}\ddot{\text{O}}=\ddot{\text{O}}\text{:}$
แก๊สไนโตรเจน (N_2)	$\text{:}\text{N}\text{:}\ddot{\text{N}}\text{:}$	$\text{:}\text{N}\equiv\text{N}\text{:}$
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	$\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}\text{C}\text{:}\ddot{\text{O}}\text{:}$	$\text{:}\ddot{\text{O}}=\text{C}=\ddot{\text{O}}\text{:}$
อะเซทิลีน (C_2H_2)	$\text{H}:\text{C}::\text{C}:\text{H}$	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$
แอมโมเนีย (NH_3)	$\begin{array}{c} \text{H}:\ddot{\text{N}}:\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$

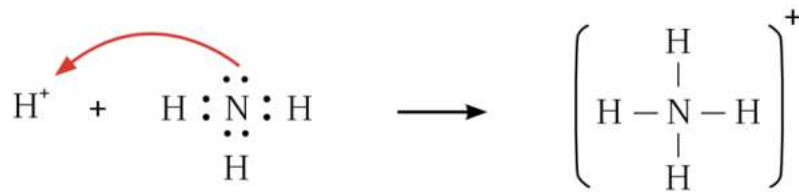
จากตาราง 3.8 โมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 2 อะตอม อะตอมกลางจะเป็นธาตุที่ต้องการจำนวนอิเล็กตรอนมากที่สุดเพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต ในกรณีที่มีธาตุที่ต้องการจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากันธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำสุดจะเป็นอะตอมกลาง



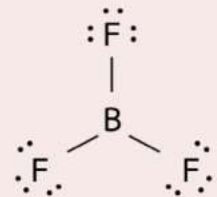
ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนโครงสร้างลิวอิสของคาร์บอนิลคลอไรด์ (COCl_2)

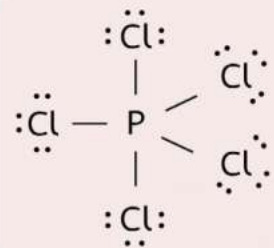
ในโครงสร้างลิวอิส อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะสามารถแสดงได้ด้วยเส้นพันธะ ในขณะที่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวแสดงด้วยจุดคู่เสมอ เช่น โมเลกุลแอมโมเนีย (NH_3) มีเส้นพันธะ N-H 3 พันธะ แทนอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 3 คู่ ในขณะที่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่ แสดงด้วยจุดคู่บนอะตอมไนโตรเจน อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวนี้อาจสร้างพันธะกับ H^+ เกิดเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) โดยที่จำนวนอิเล็กตรอนรอบอะตอมกลางยังคงเป็นไปตามกฎออกเตต ซึ่งในกรณีนี้พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดขึ้นมาจากอะตอมไนโตรเจนเท่านั้น แสดงได้ดังนี้



สารโคเวเลนต์บางชนิดอาจมีอะตอมกลางที่มีจำนวนอิเล็กตรอนล้อมรอบไม่เป็นไปตามกฎออกเตต เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) ซึ่ง F มี 7 เวเลนซ์อิเล็กตรอน เกิดพันธะโคเวเลนต์ได้เพียง 1 พันธะ ดังนั้น F 3 อะตอม จะเกิดพันธะกับ B ที่มี 3 เวเลนซ์อิเล็กตรอน ได้ 3 พันธะ จึงมีอิเล็กตรอนล้อมรอบ B เพียง 6 อิเล็กตรอน



ในฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ (PCl_5) อะตอม Cl มี 7 เวเลนซ์อิเล็กตรอน เกิดพันธะโคเวเลนต์ 1 พันธะ ดังนั้น Cl 5 อะตอม ใน PCl_5 จะเกิดพันธะกับ P ที่มี 5 เวเลนซ์อิเล็กตรอน ได้ 5 พันธะ จึงมีอิเล็กตรอนล้อมรอบ P 10 อิเล็กตรอน ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎออกเตต



แบบฝึกหัด 3.6

- เขียนโครงสร้างลิวอิสตามกฎออกเตต พร้อมทั้งระบุจำนวนอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ และจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวในโมเลกุลต่อไปนี้
 - I_2
 - NF_3
 - CS_2
 - HCN
 - H_2O_2
- เขียนโครงสร้างลิวอิสแสดงการเกิดพันธะในโมเลกุลที่เป็นไปตามกฎออกเตตจากธาตุที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - ไฮโดรเจนกับฟลูออรีน
 - กำมะถันกับไฮโดรเจน
 - ซิลิคอนกับคลอรีน
 - ฟอสฟอรัสกับไฮโดรเจน

3. เขียนโครงสร้างลิวอิสของโมเลกุลหรือไอออนต่อไปนี้ พร้อมทั้งระบุว่าเป็นไปตามกฎออกเตตหรือไม่เป็นไปตามกฎออกเตต (ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตตให้ระบุจำนวนอิเล็กตรอนรอบอะตอมกลาง)



3.3.2 สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโคเวเลนต์

สูตรโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ โดยทั่วไปเขียนสัญลักษณ์ของธาตุองค์ประกอบโดยเรียงลำดับจากค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีน้อยไปมาก พร้อมทั้งระบุจำนวนอะตอมของธาตุที่มีจำนวนอะตอมมากกว่า 1 อะตอม เช่น CO_2 CCl_4 SF_6 N_2O_4 ยกเว้นสารบางชนิด เช่น NH_3 และ CH_4 ที่นิยมเขียนสัญลักษณ์ของธาตุที่เป็นอะตอมกลางไว้ข้างหน้า ทั้งที่ธาตุไนโตรเจนและธาตุคาร์บอนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่าธาตุไฮโดรเจน

การเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ มีหลักการดังนี้

1. สารโคเวเลนต์ที่ประกอบด้วยธาตุชนิดเดียว เรียกตามชื่อธาตุนั้น ซึ่งธาตุเหล่านี้ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง จึงนิยมเรียกชื่อโดยระบุสถานะด้วยเพื่อให้ทราบว่า เป็นการกล่าวถึงโมเลกุลไม่ใช่อะตอมของธาตุ เช่น O_2 เรียกว่า แก๊สออกซิเจน

2. สารโคเวเลนต์ที่ประกอบด้วยธาตุ 2 ชนิด ให้เรียกชื่อธาตุตามลำดับที่ปรากฏในสูตรโมเลกุล โดยเปลี่ยนพยางค์ท้ายเป็น ได์ (-ide) และระบุจำนวนอะตอมธาตุองค์ประกอบในโมเลกุล ด้วยคำในภาษากรีก ดังตาราง 3.9 ยกเว้นกรณีที่ธาตุแรกมีเพียงอะตอมเดียว ไม่ต้องระบุจำนวนอะตอมของธาตุนั้น เช่น CS_2 เรียกว่า คาร์บอนไดซัลไฟด์ แต่ถ้าธาตุหลังมีเพียงอะตอมเดียวต้องระบุจำนวนอะตอม เช่น ClF เรียกว่า คลอรีนมอนอฟลูออไรด์

ตาราง 3.9 จำนวนอะตอมในภาษากรีกที่ใช้เรียกชื่อสารโคเวเลนต์

จำนวน อะตอม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
คำระบุ จำนวน	มोनอ (mono)	ได (di)	ไตร (tri)	เตตระ (tetra)	เพนตะ (penta)	เฮกซะ (hexa)	เฮปตะ (hepta)	ออกตะ (octa)	โนนะ (nona)	เดคะ (deca)

การเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ที่เป็นสารประกอบออกไซด์ นอกจากเรียกชื่อตามหลักการข้างต้นแล้วยังนิยมเรียกชื่อโดยตัดสระตัวสุดท้ายของคำที่ระบุจำนวนอะตอมออก เช่น CO นิยมเรียกเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) N_2O_4 นิยมเรียกเป็น ไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (dinitrogen tetroxide) แต่ CO_2 เรียกว่า คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) โดยไม่มีการตัดสระของคำระบุจำนวนที่เป็นพยางค์เดียว

นอกจากนี้สารบางชนิดยังมีชื่อที่เรียกโดยไม่เป็นไปตามหลักการข้างต้นครบทุกประการ เช่น HCl นิยมเรียกว่า ไฮโดรเจนคลอไรด์ (hydrogen chloride) แทนที่จะเรียกว่า ไฮโดรเจนมอนอคลอไรด์ (hydrogen monochloride)

สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโคเวเลนต์บางชนิดแสดงดังตาราง 3.10

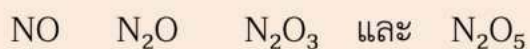
ตาราง 3.10 ตัวอย่างสูตรโมเลกุลและการเรียกชื่อสารโคเวเลนต์

สารโคเวเลนต์	การเรียกชื่อ
H_2S	ไดไฮโดรเจนมอนอซัลไฟด์ (dihydrogen monosulfide) หรือนิยมเรียกว่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide)
BF_3	โบรอนไตรฟลูออไรด์ (boron trifluoride)
Cl_2O	ไดคลอรีนมอนออกไซด์ (dichlorine monooxide) หรือนิยมเรียกว่า ไดคลอรีนมอนอกไซด์ (dichlorine monoxide)
Cl_2O_7	ไดคลอรีนเฮปตะออกไซด์ (dichlorine heptaoxide) หรือนิยมเรียกว่า ไดคลอรีนเฮปตอกไซด์ (dichlorine heptoxide)
P_4O_{10}	เตตระฟอสฟอรัสเดคะออกไซด์ (tetraphosphorus decaoxide) หรือนิยมเรียกว่า เตตระฟอสฟอรัสเดคอกไซด์ (tetraphosphorus decoxide)



แบบฝึกหัด 3.7

1. เรียกชื่อสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนต่อไปนี้



2. เขียนสูตรและชื่อของสารโคเวเลนต์ในตารางให้ถูกต้อง

ข้อ	สูตร	ชื่อสาร
2.1	CCl ₄	
2.2		ซีนอนเตตระฟลูออไรด์ (xenon tetrafluoride)
2.3		โบรมีนเพนตะฟลูออไรด์ (bromine pentafluoride)
2.4	PH ₃	
2.5		แอนติโมนีไตรโบรไมด์ (antimony tribromide)
2.6	SeF ₆	
2.7		ไดซิลิคอนเฮกซะโบรไมด์ (disilicon hexabromide)
2.8	P ₂ O ₅	
2.9		ไดฟอสฟอรัสไตรซัลไฟด์ (diphosphorus trisulfide)
2.10		ไดไนโตรเจนเพนตะซัลไฟด์ (dinitrogen pentasulfide)

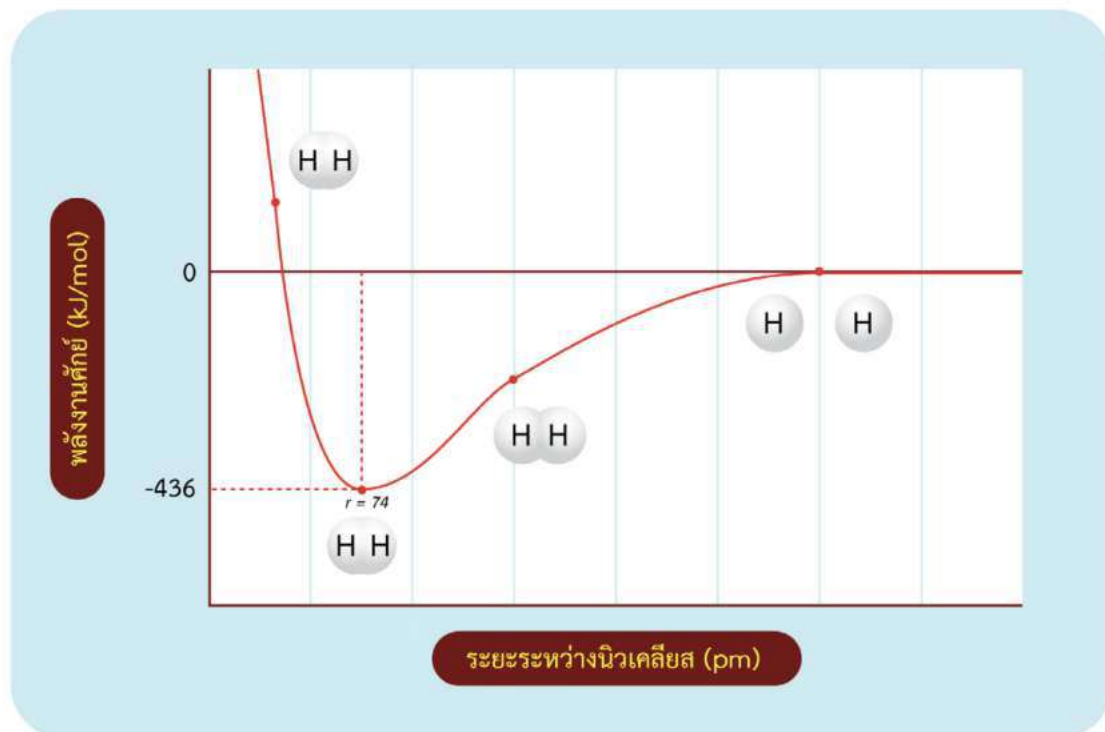
3. เขียนสูตรโมเลกุลตามกฎออกเตตและชื่อของสารโคเวเลนต์ที่เกิดระหว่างธาตุต่อไปนี้

3.1 สารหนูกับคลอรีน

3.2 ซิลิคอนกับฟลูออรีน

3.3.3 ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์

เมื่ออะตอมไฮโดรเจนสองอะตอมเคลื่อนที่เข้าใกล้กันจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งกับโปรตอนในนิวเคลียสของอีกอะตอมหนึ่ง ขณะเดียวกันก็มีแรงผลักระหว่างโปรตอนกับโปรตอนและอิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอนของอะตอมทั้งสองด้วย แรงดึงดูดทำให้พลังงานศักย์ลดลง แต่แรงผลักรทำให้พลังงานศักย์เพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานศักย์รวมลดลงแล้วเพิ่มขึ้นตามระยะห่างระหว่างนิวเคลียส โดยมีผลรวมพลังงานศักย์ต่ำที่สุดเมื่อระยะห่างระหว่างนิวเคลียสทั้งสองเท่ากับ 74 พิโกเมตร ถ้าอะตอมเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากกว่านี้แรงผลักรจะมากกว่าแรงดึงดูดซึ่งทำให้พลังงานศักย์รวมเพิ่มขึ้น ดังรูป 3.9



รูป 3.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเกิดโมเลกุลแก๊สไฮโดรเจน

จากรูป 3.9 ระยะห่างระหว่างนิวเคลียสที่ทำให้พลังงานศักย์รวมต่ำที่สุด เรียกว่า **ความยาวพันธะ** (bond length) ในทางปฏิบัติความยาวพันธะได้จากการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อผ่านโครงผลึกของสารหรือจากการวิเคราะห์สเปกตรัมของโมเลกุลสาร ซึ่งพบว่าความยาวพันธะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดอะตอมคู่ร่วมพันธะและการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ทำให้ความยาวพันธะโคเวเลนต์สั้นกว่าผลรวมของรัศมีอะตอมอิสระที่มาสร้างพันธะกัน

สำหรับอะตอมคู่ร่วมพันธะเดียวกัน ความยาวพันธะลดลงจากพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความยาวพันธะชนิดเดียวกันระหว่างอะตอมคู่เดียวกันอาจไม่เท่ากันในสารต่างชนิดกัน ดังตาราง 3.11

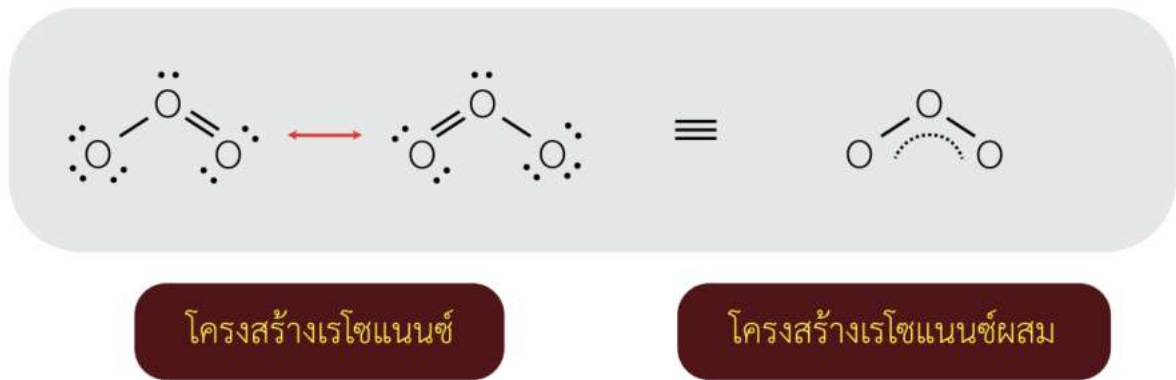
ตาราง 3.11 ความยาวพันธะระหว่าง O-H ในโมเลกุลของสารต่างชนิดกัน

สาร	โครงสร้างลิวอิส	ความยาวพันธะ O-H (pm)
น้ำ (H ₂ O)	$\text{H}-\ddot{\text{O}}-\text{H}$	95.8
เมทานอล (CH ₃ OH)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	95.6
กรดไนตริก (HNO ₂)	$\ddot{\text{O}}=\text{N}-\ddot{\text{O}}-\text{H}$	98.0

จากตาราง 3.11 ความยาวพันธะ O-H ในโมเลกุลของน้ำ เมทานอล และกรดไนตริก มีค่าต่างกันอย่างเล็กน้อย ซึ่งในการประมาณความยาวพันธะระหว่างอะตอมคู่หนึ่ง ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ **ความยาวพันธะเฉลี่ย** (average bond length) ดังตาราง 3.12

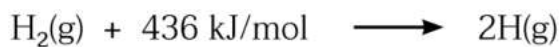
การศึกษาความยาวพันธะของโมเลกุลโคเวเลนต์นำไปสู่การอธิบายการเกิดพันธะในโมเลกุลของสารโคเวเลนต์บางชนิดที่สามารถเขียนโครงสร้างลิวอิสตามกฎออกเตตได้มากกว่า 1 โครงสร้าง เช่น โมเลกุลโอโซน (O₃) มีโครงสร้างลิวอิส 2 โครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ระหว่างออกซิเจนที่ควรมีค่าความยาวพันธะไม่เท่ากัน แต่จากการศึกษาพบว่าความยาวพันธะระหว่างออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 128 พิโกเมตร เพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่างความยาวพันธะ O-O (148 พิโกเมตร) และพันธะ O=O (121 พิโกเมตร) แสดงว่าพันธะทั้งสองในโมเลกุลโอโซนเป็นพันธะชนิดเดียวกัน ที่อาจอธิบายได้โดยทฤษฎีเรโซแนนซ์ว่า อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ เคลื่อนย้ายไปมาระหว่างอะตอมทั้งสาม ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างผสมระหว่าง 2 โครงสร้าง

การเคลื่อนย้ายตำแหน่งของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะในโมเลกุลที่เขียนโครงสร้างลิวอิสได้มากกว่า 1 แบบ เรียกว่า **เรโซแนนซ์** (resonance) และเรียกโครงสร้างลิวอิสแต่ละแบบว่า **โครงสร้างเรโซแนนซ์** (resonance structure) โดยแสดงการเกิดเรโซแนนซ์ระหว่างโครงสร้างด้วยลูกศรสองหัว และเรียกโครงสร้างผสมของโครงสร้างเรโซแนนซ์ทุกโครงสร้างว่า **โครงสร้างเรโซแนนซ์ผสม** (resonance hybrid) ดังรูป 3.10

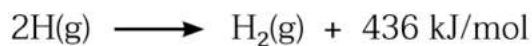


รูป 3.10 โครงสร้างเรโซแนนซ์ของโอโซน

นอกจากความยาวพันธะแล้ว กราฟในรูป 3.9 ยังแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลแก๊สไฮโดรเจนมีพลังงานต่ำกว่าอะตอมไฮโดรเจน 436 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งหมายความว่าทำให้โมเลกุลแก๊สไฮโดรเจน 1 โมเลกุล แยกออกเป็นอะตอมไฮโดรเจน 2 อะตอม ต้องใช้พลังงานอย่างน้อย 436 กิโลจูลต่อโมล ในการสลายพันธะระหว่างอะตอมไฮโดรเจน ดังสมการ



ในทางกลับกันถ้าอะตอมไฮโดรเจน 2 อะตอมสร้างพันธะระหว่างกันเกิดเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรเจน 1 โมเลกุล จะคายพลังงาน 436 กิโลจูลต่อโมล ดังนี้



พลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้สลายพันธะระหว่างอะตอมคู่ร่วมพันธะในโมเลกุลสถานะแก๊สให้เป็นอะตอมเดี่ยวในสถานะแก๊สเรียกว่า **พลังงานพันธะ** (bond energy) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้หน่วยเป็นกิโลจูลต่อโมล (kJ/mol)

สำหรับโมเลกุลที่มีพันธะชนิดเดียวกันมากกว่า 1 พันธะ พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะแต่ละพันธะจะเท่ากันหรือไม่

โมเลกุลของน้ำมีพันธะ O-H 2 พันธะ ดังนั้นการสลายโมเลกุลของน้ำ (H_2O) จะต้องใช้พลังงานเพื่อสลายพันธะ O-H ทั้งสองดังนี้



การสลายพันธะ O-H แต่ละพันธะใช้พลังงานไม่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบว่า พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะ O-H ในสารชนิดอื่นก็มีค่าต่างกัน ในทำนองเดียวกันกับความยาวพันธะ การประมาณพลังงานพันธะระหว่างอะตอมคู่หนึ่ง ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ **พลังงานพันธะเฉลี่ย** (average bond energy) ดังตาราง 3.12 ซึ่งเฉลี่ยจากพันธะทั้งที่อยู่ในโมเลกุลชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน

ตาราง 3.12 ความยาวพันธะเฉลี่ยและพลังงานพันธะเฉลี่ย

พันธะ	ความยาวพันธะเฉลี่ย (pm)	พลังงานพันธะเฉลี่ย (kJ/mol)	พันธะ	ความยาวพันธะเฉลี่ย (pm)	พลังงานพันธะเฉลี่ย (kJ/mol)
H-H	74	436	C-C	154	346
H-F	92	567	C=C	134	614
H-Cl	128	431	C≡C	120	839
H-Br	141	366	C-N	146	286
H-I	161	298	C=N	121	615
H-N	102	391	C≡N	116	890
H-O	96	463	N-N	145	158
H-S	134	364	N=N	124	470
C-H	109	414	N≡N	113	945
C-F	139	485	N-O	143	214
C-Cl	179	327	N=O	118	587
C-Br	194	285	O-O	148	144
C-I	213	228	O=O	121	498
S-O	161	521	C-O	142	358
F-F	141	159	C=O	121	804
Cl-Cl	199	242	C-S	182	289
Br-Br	228	193	C=S	161	536
I-I	267	151			

จากตาราง 3.12 จะเห็นว่าพันธะระหว่างธาตุคาร์บอนมีทั้งพันธะเดี่ยว (C-C) พันธะคู่ (C=C) และพันธะสาม (C≡C) ซึ่งมีค่าพลังงานพันธะเป็น 346 614 และ 839 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ แสดงว่าพันธะสามแข็งแรงกว่าพันธะคู่ และพันธะคู่แข็งแรงกว่าพันธะเดี่ยว และถ้าพิจารณาอะตอมคู่ร่วมพันธะเดียวกัน พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะน้อยจะมีค่าความยาวพันธะมาก เช่น พันธะ C-O มีความยาวพันธะ 142 พิโกเมตร และพลังงานพันธะ 358 กิโลจูลต่อโมล ในขณะที่พันธะ C=O มีความยาวพันธะ 121 พิโกเมตร และพลังงานพันธะ 804 กิโลจูลต่อโมล นอกจากอะตอมคู่ร่วมพันธะเดียวกันแล้ว ความสัมพันธ์นี้ยังสามารถใช้เปรียบเทียบพันธะของธาตุในหมู่เดียวกัน เช่น พันธะ H-F H-Cl H-Br เรียงลำดับความยาวพันธะได้เป็น พันธะ H-F < H-Cl < H-Br ในขณะที่เรียงลำดับพลังงานพันธะได้เป็น พันธะ H-F > H-Cl > H-Br



ตรวจสอบความเข้าใจ

เรียงลำดับความยาวพันธะและพลังงานพันธะในโมเลกุล Cl_2 Br_2 และ I_2



ชวนคิด

เพราะเหตุใดพันธะ F-F มีพลังงานพันธะน้อยกว่าพันธะ Cl-Cl ซึ่งไม่เป็นไปตามแนวโน้มเดียวกันกับธาตุหมู่ VIIA ชนิดอื่น

ปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องกับกระบวนการสลายพันธะในสารตั้งต้นและการสร้างพันธะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการสลายพันธะเป็นกระบวนการดูดพลังงาน (E_1) ซึ่งมีค่าเป็นบวก (+) และการสร้างพันธะจะเป็นกระบวนการคายพลังงาน (E_2) ซึ่งมีค่าเป็นลบ (-) และพลังงานของปฏิกิริยา (ΔH) คำนวณได้จากผลรวมของ E_1 และ E_2 ดังสมการ

$$\Delta H = E_1 + E_2$$

ถ้าพลังงานที่ใช้สลายพันธะมีค่ามากกว่าพลังงานที่ใช้สร้างพันธะ จะได้ ΔH มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) แสดงว่าปฏิกิริยานั้นเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน ในทางกลับกันถ้าพลังงานที่คายออกมาจากการสร้างพันธะมีค่ามากกว่าพลังงานที่ต้องใช้สลายพันธะ จะได้ ΔH มีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงว่าปฏิกิริยานั้นเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน

การคำนวณพลังงานของปฏิกิริยา ศึกษาได้จากตัวอย่างต่อไปนี้



ตัวอย่าง 1

การสลายพันธะในโมเลกุลมีเทน (CH_4) 1 โมล ออกเป็นอะตอมเดี่ยวต้องใช้พลังงานเท่าใด และการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นแบบดูดพลังงานหรือคายพลังงาน



วิธีทำ

CH_4 1 mol มีพันธะ C-H 4 mol

พลังงานพันธะของ C-H = 414 kJ/mol

พลังงานที่ใช้สลายพันธะของ CH_4 1 mol

$$= 4 \text{ mol C-H} \times 414 \text{ kJ/mol C-H}$$

$$= 1656 \text{ kJ}$$

ดังนั้น การสลายพันธะในโมเลกุลมีเทน 1 โมล ให้เป็นอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนต้องใช้พลังงาน 1656 กิโลจูล และเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน



ตัวอย่าง 2

ปฏิกิริยาการเผาไหม้แก๊สมีเทน (CH_4) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้ดูดพลังงานหรือคายพลังงานต่อโมลของแก๊สมีเทนเป็นเท่าใด

วิธีทำ

สารตั้งต้นในปฏิกิริยา คือ CH_4 1 โมล และ O_2 2 โมล

พลังงานที่ต้องใช้ในการสลายพันธะของสารตั้งต้น คำนวณได้ดังนี้

CH_4 1 mol มีพันธะ C-H 4 mol และ O_2 1 mol มีพันธะ O=O 1 mol

พลังงานพันธะของ C-H = 414 kJ/mol และ

พลังงานพันธะของ O=O = 498 kJ/mol

พลังงานที่ใช้สลายพันธะของ CH₄ 1 โมล และ O₂ 2 โมล = E₁ kJ

$$\begin{aligned} E_1 &= (4 \text{ mol C-H} \times 414 \text{ kJ/mol C-H}) + (2 \text{ mol O=O} \times 498 \text{ kJ/mol O=O}) \\ &= 1656 \text{ kJ} + 996 \text{ kJ} \\ &= 2652 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา คือ CO₂ 1 โมล และ H₂O 2 โมล

CO₂ 1 mol มีพันธะ C=O 2 mol และ H₂O 1 mol มีพันธะ H-O 2 mol

พลังงานพันธะของ C=O = 804 kJ/mol และ

พลังงานพันธะของ H-O = 463 kJ/mol

พลังงานที่คายออกมาจากการสร้างพันธะของ CO₂ 1 โมล และ H₂O 2 โมล = E₂ kJ

$$\begin{aligned} E_2 &= [(2 \text{ mol C=O}) \times (-804 \text{ kJ/mol C=O})] + \\ &\quad [(4 \text{ mol H-O}) \times (-463 \text{ kJ/mol H-O})] \\ &= (-1608 \text{ kJ}) + (-1852 \text{ kJ}) \\ &= -3460 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \Delta H &= E_1 + E_2 \\ &= (2652 \text{ kJ}) + (-3460 \text{ kJ}) \\ &= -808 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเผาไหม้แก๊สมีเทน 1 โมล คายพลังงานเท่ากับ 808 กิโลจูล หรือปฏิกิริยานี้คายพลังงาน 808 กิโลจูลต่อโมลของแก๊สมีเทน

ปฏิกิริยาเคมีนอกจากจะเกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนแล้ว ยังอาจเกี่ยวข้องกับพลังงานรูปแบบอื่นอีก เช่น พลังงานกล พลังงานแสง พลังงานไฟฟ้า ซึ่งการดูดและคายพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ มีส่วนสัมพันธ์กับพลังงานพันธะในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ โดยรูปแบบของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีสามารถสังเกตเห็นได้ในชีวิตประจำวันหรือนำไปสู่การใช้ประโยชน์ได้ เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงนอกจากให้พลังงานความร้อนแล้วยังให้พลังงานแสงและพลังงานกลในการขับเคลื่อนยานพาหนะ



แบบฝึกหัด 3.8

- เปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลหรือไอออนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ พร้อมอธิบายเหตุผล
 - พันธะระหว่าง C กับ O ของ CO และ CO₂
 - พันธะระหว่าง O กับ O ของ O₂ และ H₂O₂
 - พันธะระหว่าง N กับ N ของ N₂ และ N₂H₄
 - พันธะระหว่าง C กับ C ของ C₂H₂ และ C₂H₄
 - พันธะระหว่าง C กับ O ของ CO₃²⁻ และ COCl₂
- คำนวณพลังงานของปฏิกิริยาการเผาไหม้ของแก๊สเอทิลีน (C₂H₄) ดังสมการ

$$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
- กำหนดค่าพลังงานพันธะดังนี้

พันธะ	H-F	H-Cl	Cl-Cl
พลังงาน (kJ/mol)	567	431	242

จากปฏิกิริยา $\text{HF}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{HCl}(\text{g}) + \text{ClF}(\text{g})$ เป็นปฏิกิริยาคูดพลังงาน 120 กิโลจูลต่อโมล คำนวณพลังงานพันธะของ Cl-F

3.3.4 รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์

โมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 2 อะตอม นอกจากความยาวพันธะและพลังงานพันธะแล้ว ข้อมูลที่ใช้ในการอธิบายสมบัติของสารคือ **รูปร่างโมเลกุล** (molecular shape)

ในโมเลกุลของน้ำ (H₂O) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แอมโมเนีย (NH₃) และโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF₃) มีรูปร่างโมเลกุลต่างกันหรือไม่ อย่างไร

เนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถพิจารณารูปร่างโมเลกุลได้โดยตรง แต่สามารถศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างโมเลกุลโดยการจำลองตำแหน่งของคู่อิเล็กตรอนตามทฤษฎี 3.2



กิจกรรม 3.2 การจัดตัวของลูกโป่งกับรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. อธิบายและเขียนแสดงรูปทรงเรขาคณิตของลูกโป่งที่ผูกมัดติดกัน
2. บอกรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์จากการเปรียบเทียบกับรูปร่างของลูกโป่งที่ผูกมัดติดกัน

วัสดุและอุปกรณ์

1. ลูกโป่งที่มีขนาดเท่ากัน 2 สี (สีที่หนึ่ง 8 ลูก และสีที่สอง 2 ลูก)
2. เครื่องสูบลมลูกโป่ง

วิธีทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

1. เป่าลูกโป่งสีที่หนึ่ง 6 ลูก ให้มีขนาดเท่า ๆ กัน และผูกมัดแต่ละลูกไว้ให้แน่นโดยไม่ใช้ยางหรือเชือกมัด
2. ผูกมัดลูกโป่งที่เป่าแล้วเข้าด้วยกัน 2 ลูก และวาดรูปการจัดเรียงตัวของลูกโป่ง
3. วาดอะตอมและพันธะซ้อนทับลงบนรูปลูกโป่ง โดยใช้เงื่อนไขดังนี้
 - ขั้วของลูกโป่งที่ผูกมัดติดกันแทนตำแหน่งของอะตอมกลาง
 - ปลายของลูกโป่งแต่ละลูกแทนตำแหน่งของอะตอมล้อมรอบ
 - เส้นตรงที่เชื่อมระหว่างอะตอมกลางกับอะตอมล้อมรอบแทนพันธะ
4. วาดรูปทรงเรขาคณิตของรูปร่างโมเลกุลที่ได้ โดยลากเส้นเชื่อมระหว่างอะตอมล้อมรอบอะตอมกลาง
5. ทำซ้ำข้อ 2 – 4 โดยใช้ลูกโป่งผูกมัดติดกัน 3 4 5 และ 6 ลูก โดยเพิ่มทีละลูก ตามลำดับ และพยายามจัดกลุ่มลูกโป่งให้มีสมมาตรในสามมิติมากที่สุด

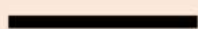
ตอนที่ 2

1. เป่าลูกโป่งสีที่หนึ่ง 2 ลูก และลูกโป่งสีที่สอง 2 ลูก ผูกข้าวแต่ละลูกไว้ให้แน่นโดยไม่ใช้ยางหรือเชือกมัด
2. ผูกข้าวลูกโป่งที่เป่าแล้วทั้ง 4 ลูก เข้าด้วยกัน และวาดรูปการจัดเรียงตัวของลูกโป่ง
3. วาดอะตอมและพันธะซ้อนทับลงบนรูปลูกโป่ง โดยใช้เงื่อนไขดังนี้
 - ข้าวของลูกโป่งที่ผูกติดกันแทนตำแหน่งของอะตอมกลาง
 - ปลายของลูกโป่งสีที่หนึ่งแต่ละลูกแทนตำแหน่งของอะตอมล้อมรอบ
 - เส้นตรงที่เชื่อมระหว่างอะตอมกลางกับอะตอมล้อมรอบแทนพันธะ
 - ลูกโป่งสีที่สองแต่ละลูกแทนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

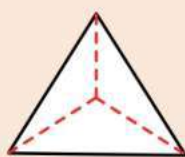
คำถามท้ายกิจกรรม

ตอนที่ 1

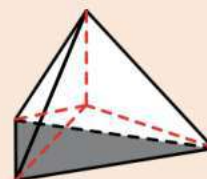
1. ปัจจัยใดที่กำหนดทิศทางการจัดเรียงตัวของลูกโป่ง
2. จำนวนอะตอมล้อมรอบในโมเลกุลมีผลต่อรูปร่างโมเลกุลอย่างไร
3. ระบุรูปร่างโมเลกุลที่ประกอบด้วยจำนวนอะตอมล้อมรอบที่ต่างกันจากรูปทรงเรขาคณิตที่กำหนดให้



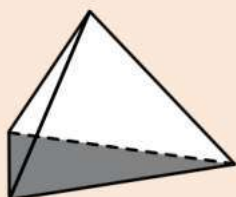
เส้นตรง



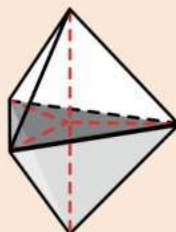
สามเหลี่ยมแบนราบ



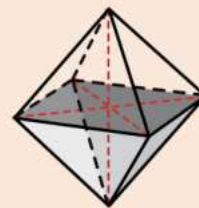
ทรงสี่หน้า



พีระมิดฐานสามเหลี่ยม



พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม



ทรงแปดหน้า

ตอนที่ 2

โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมล้อมรอบและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจำนวนเท่าใด และมีรูปร่างโมเลกุลเป็นเส้นตรงหรือไม่ เพราะเหตุใด

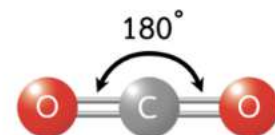
จากกิจกรรม 3.2 ตอนที่ 1 ลูกโป่งแต่ละลูกซึ่งมีปริมาตรเท่ากัน เมื่อนำมาผูกขั้วติดกัน พบว่า ลูกโป่งแต่ละลูกผลักกันเกิดการจัดตัวเป็นรูปร่างต่าง ๆ ที่มีสมมาตร ในที่นี้ลูกโป่งเป็นตัวแทนของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะระหว่างอะตอมกลางกับอะตอมที่ล้อมรอบ ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะผลักกันด้วยแรงกระทำระหว่างประจุชนิดเดียวกัน ทำให้ได้ทิศทางของพันธะอยู่ห่างกันมากที่สุด เกิดเป็นรูปร่างโมเลกุลในลักษณะเดียวกันกับการจัดตัวของลูกโป่ง และในกิจกรรมตอนที่ 2 ลูกโป่งต่างสีใช้แทนอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวซึ่งรูปร่างโมเลกุลพิจารณาจากตำแหน่งของอะตอมทั้งหมด โดยไม่นำตำแหน่งของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมาพิจารณา

การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลจากโครงสร้างลิวอิสโดยอาศัยการผลักกันของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอาจใช้ **ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์** (Valence Shell Electron Pair Repulsion theory เขียนแบบย่อได้เป็น VSEPR theory) โดยทฤษฎี VSEPR มีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ ดังนั้นแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกันจึงมีมากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และมากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน ดังนี้

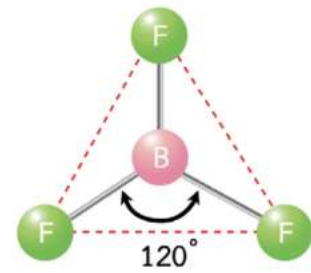


สำหรับโมเลกุล AB_xE_y ซึ่งมี A เป็นอะตอมกลาง B เป็นอะตอมล้อมรอบ จำนวน x อะตอม และ E เป็นอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมกลาง จำนวน y คู่ สามารถพิจารณารูปร่างโมเลกุลจากจำนวนอะตอมล้อมรอบและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมกลาง ดังตาราง 3.13 และมีรายละเอียดดังนี้

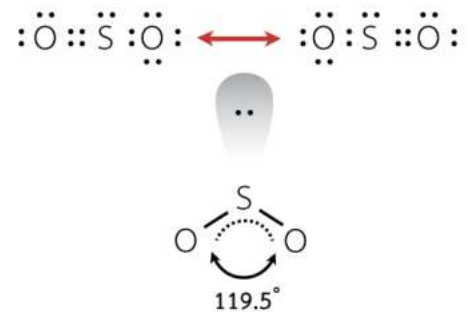
AB_2 เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีอะตอมล้อมรอบ 2 อะตอม และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างโมเลกุลแบบ **เส้นตรง** (linear) ซึ่งแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทำให้มุม $O-C-O$ มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 180°



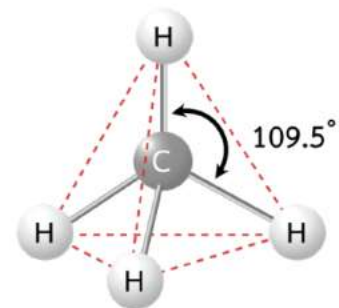
AB_3 เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) มีอะตอมล้อมรอบ 3 อะตอม และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างโมเลกุลแบบ **สามเหลี่ยมแบนราบ** (trigonal planar) ซึ่งแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทำให้พันธะ B-F ทำมุมระหว่างกันมากที่สุด เท่ากับ 120° ทั้ง 3 มุม



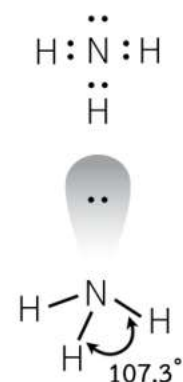
AB_2E เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มีอะตอมล้อมรอบ 2 อะตอม และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่ ซึ่งอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะมีการจัดตัวคล้ายกับโมเลกุล AB_3 แต่เนื่องจากอะตอมล้อมรอบมีเพียง 2 อะตอม โมเลกุลจึงมีรูปร่างแบบ **มุมงอ** (bent) และเนื่องจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมีค่ามากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน จึงทำให้มุม O-S-O มีค่าน้อยกว่า 120° ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุม O-S-O มีค่าเท่ากับ 119.5°



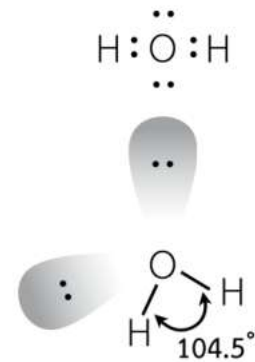
AB_4 เช่น มีเทน (CH_4) มีอะตอมล้อมรอบ 4 อะตอม และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างโมเลกุลแบบ **ทรงสี่หน้า** (tetrahedral) ซึ่งแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทำให้พันธะ C-H ทำมุมระหว่างกันมากที่สุด เท่ากับ 109.5° ทุกมุม



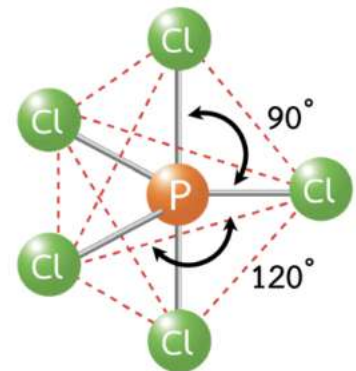
AB_3E เช่น แอมโมเนีย (NH_3) มีอะตอมล้อมรอบ 3 อะตอม และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่ ซึ่งอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะมีการจัดตัวคล้ายกับโมเลกุล AB_4 แต่เนื่องจากอะตอมล้อมรอบมีเพียง 3 อะตอม โมเลกุลจึงมีรูปร่างแบบ **พีระมิดฐานสามเหลี่ยม** (trigonal pyramidal) และเนื่องจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน จึงทำให้มุม H-N-H มีค่าน้อยกว่า 109.5° ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุม H-N-H มีค่าเท่ากับ 107.3°



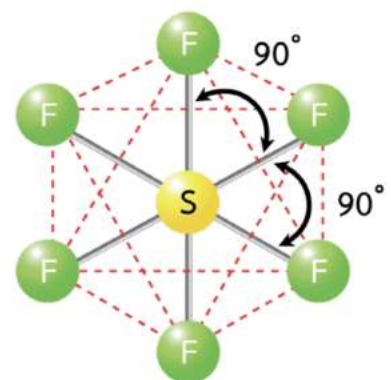
AB_2E_2 เช่น น้ำ (H_2O) มีอะตอมล้อมรอบ 2 อะตอม และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 2 คู่ ซึ่งอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมีการจัดตัวคล้ายกับโมเลกุล AB_4 แต่เนื่องจากอะตอมล้อมรอบมีเพียง 2 อะตอม โมเลกุลจึงมีรูปร่างแบบ**มุมงอ** (bent) และเนื่องจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน จึงทำให้มุม $H-O-H$ มีค่าน้อยกว่า 109.5° ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุม $H-O-H$ มีค่าเท่ากับ 104.5° และจะเห็นว่ามุม $H-O-H$ ในโมเลกุลน้ำมีค่าน้อยกว่ามุม $H-N-H$ ในโมเลกุลแอมโมเนีย เนื่องจากในโมเลกุลน้ำมีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมกลาง 2 คู่ ในขณะที่โมเลกุลแอมโมเนียมีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมกลางเพียง 1 คู่



AB_5 เช่น ฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ (PCl_5) มีอะตอมล้อมรอบ 5 อะตอม และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างโมเลกุลแบบ**พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม** (trigonal bipyramidal) ซึ่งแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทำให้พันธะ $P-Cl$ ทำมุมระหว่างกันมากที่สุด โดยมีค่ามุมพันธะที่อยู่ภายในฐานพีระมิดเป็น 120° มุมระหว่างพันธะที่อยู่ภายในกับนอกฐานพีระมิดเป็น 90° และมุมระหว่างพันธะที่อยู่นอกฐานพีระมิดเป็น 180°

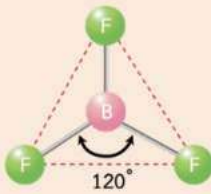
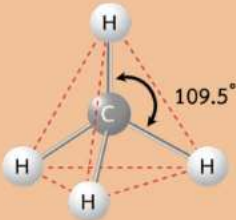
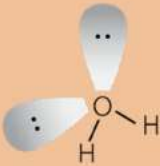
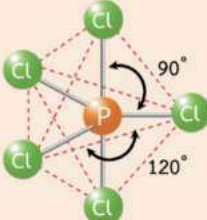


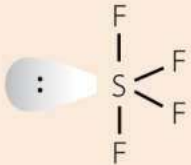
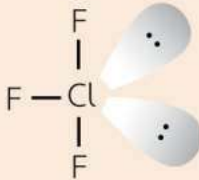
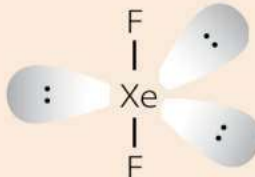
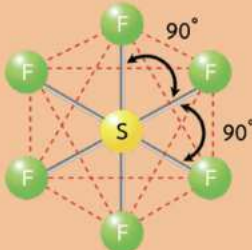
AB_6 เช่น ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) มีอะตอมล้อมรอบ 6 อะตอม และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างโมเลกุลแบบ**ทรงแปดหน้า** (octahedral) ซึ่งแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทำให้พันธะ $S-F$ ทำมุมระหว่างกันมากที่สุด โดยมีค่ามุมระหว่างพันธะ $F-S-F$ ที่อยู่ติดกันทุกพันธะเท่ากับ 90°





ตาราง 3.13 ตัวอย่างรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์

สูตรทั่วไป	รูปร่างโมเลกุล	ตัวอย่างโมเลกุล
AB_2	เส้นตรง (linear)	 BeH_2 $HgCl_2$
AB_3	สามเหลี่ยมแบนราบ (trigonal planar)	 BCl_3 BI_3
AB_2E	มุมงอ (bent)	 O_3
AB_4	ทรงสี่หน้า (tetrahedral)	 CCl_4 NH_4^+
AB_3E	พีระมิดฐานสามเหลี่ยม (trigonal pyramidal)	 PH_3
AB_2E_2	มุมงอ (bent หรือ V-shaped)	 H_2S
AB_5	พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม (trigonal bipyramidal)	 AsF_5

สูตรทั่วไป	รูปร่างโมเลกุล	ตัวอย่างโมเลกุล	
AB_4E	ทรงสี่หน้าบิดเบี้ยว (distorted tetrahedral หรือ see-saw)		$TeCl_4$
AB_3E_2	รูปตัวที (T-shaped)		BrF_3
AB_2E_3	เส้นตรง (linear)		$[ICl_2]^-$
AB_6	ทรงแปดหน้า (octahedral)		TeF_6
AB_5E	พีระมิดฐานสี่เหลี่ยม (square pyramidal)		IF_5 $XeOF_4$
AB_4E_2	สี่เหลี่ยมแบนราบ (square planar)		$[XeF_4]^{2-}$

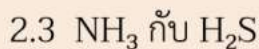
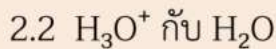


แบบฝึกหัด 3.9

1. ระบุจำนวนอะตอมล้อมรอบ จำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว สูตรทั่วไป และรูปร่างโมเลกุลของสารที่มีสูตรโมเลกุลต่อไปนี้



2. เปรียบเทียบมุมพันธะในโมเลกุลแต่ละคู่ต่อไปนี้

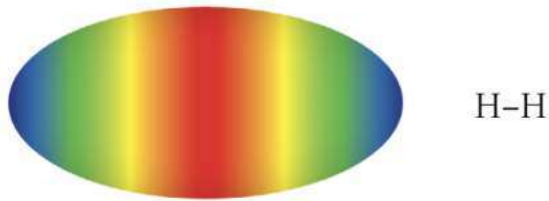


3.3.5 สภาพัฒของโมเลกุลโคเวเลนต์

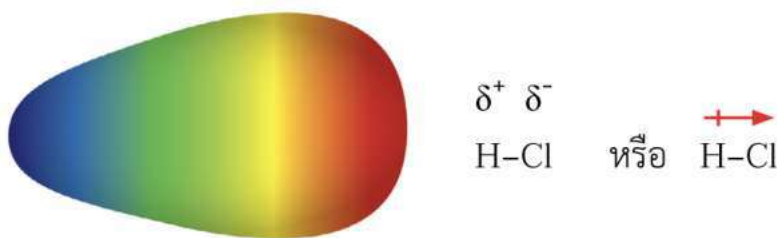
สารโคเวเลนต์ที่เกิดจากอะตอมชนิดเดียว เช่น แก๊สไฮโดรเจน (H_2) มีการกระจายของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะระหว่างอะตอมทั้งสองเท่ากัน พันธะที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า **พันธะโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว** (non – polar covalent bond) แต่สารโคเวเลนต์ที่เกิดจากอะตอมต่างชนิดกันและมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีแตกต่างกันจะมีการกระจายของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะระหว่างอะตอมไม่เท่ากัน เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) มีอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะอยู่บริเวณอะตอมคลอรีนมากกว่าอะตอมไฮโดรเจน เพราะอะตอมคลอรีนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีมากกว่าอะตอมไฮโดรเจน ทำให้อะตอมคลอรีนแสดงประจุไฟฟ้าค่อนข้างลบ ส่วนอะตอมไฮโดรเจนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีน้อยกว่าแสดงประจุไฟฟ้าค่อนข้างบวก พันธะที่เกิดขึ้นลักษณะเช่นนี้เรียกว่า **พันธะโคเวเลนต์มีขั้ว** (polar covalent bond)

การแสดงขั้วของพันธะอาจใช้สัญลักษณ์ δ^+ (เดลต้าบวก) สำหรับอะตอมที่แสดงประจุไฟฟ้าค่อนข้างบวก (partial positive charge) และ δ^- (เดลต้าลบ) สำหรับอะตอมที่แสดงประจุไฟฟ้าค่อนข้างลบ (partial negative charge) หรืออาจใช้เครื่องหมายโดยให้หัวลูกศรชี้ไปในทิศของอะตอมที่แสดงประจุไฟฟ้าค่อนข้างลบ ส่วนท้ายลูกศรที่มีลักษณะคล้ายเครื่องหมายบวกให้อยู่บริเวณอะตอมที่แสดงประจุไฟฟ้าค่อนข้างบวก ดังรูป 3.11

พันธะโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว



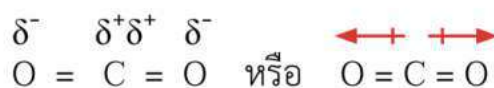
พันธะโคเวเลนต์มีขั้ว



รูป 3.11 การกระจายของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนและการแสดงสัญลักษณ์ขั้วในโมเลกุลโคเวเลนต์
(สีแดงแทนบริเวณที่มีกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนมาก และสีน้ำเงินแทนบริเวณที่มีกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนน้อย)

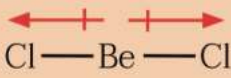
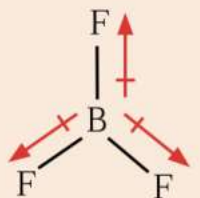
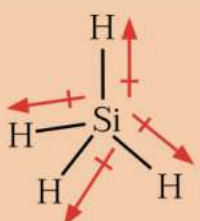
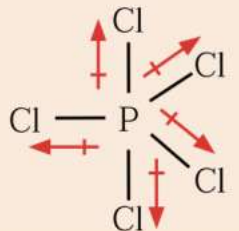
ขั้วของพันธะทำให้โมเลกุลอะตอมคู่ที่ประกอบด้วยธาตุชนิดเดียวกัน เช่น H_2 O_2 Cl_2 เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว (non – polar molecule) ส่วนโมเลกุลอะตอมคู่ที่ประกอบด้วยธาตุต่างชนิดกัน เช่น HF HCl CO เป็นโมเลกุลมีขั้ว (polar molecule) แล้วโมเลกุลโคเวเลนต์ที่ประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 2 อะตอม และพันธะระหว่างคู่อะตอมเป็นพันธะมีขั้ว จะเป็นโมเลกุลมีขั้วหรือไม่ อย่างไร

สภาพขั้วของโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 2 อะตอม พิจารณาจากการรวมสภาพขั้วของพันธะแบบเวกเตอร์ ซึ่งถ้าเวกเตอร์หักล้างกันหมดจะทำให้โมเลกุลไม่มีขั้ว แต่ถ้าเวกเตอร์หักล้างกันไม่หมด โมเลกุลจะเป็นโมเลกุลมีขั้ว เช่น โมเลกุลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีรูปร่างโมเลกุลแบบเส้นตรง และมีเวกเตอร์สภาพขั้วของพันธะ $\text{C}=\text{O}$ สองพันธะในทิศทางตรงข้ามกันจึงหักล้างกันหมด ทำให้ CO_2 เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว ดังนี้

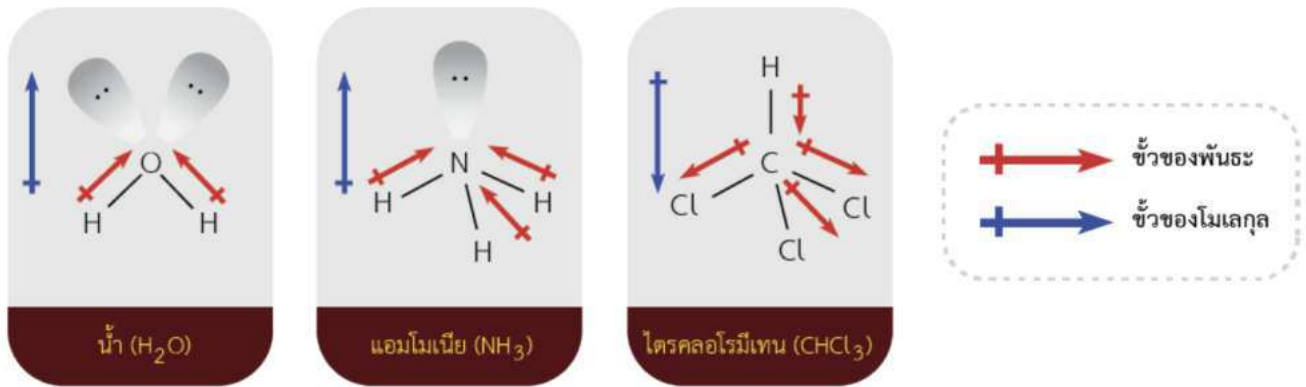


โมเลกุลที่อะตอมกลางไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และอะตอมล้อมรอบเหมือนกันทุกอะตอมเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว ถึงแม้ว่าพันธะภายในโมเลกุลจะเป็นพันธะที่มีขั้ว เนื่องจากรูปร่างโมเลกุลมีสมมาตรที่ทำให้เวกเตอร์สภาพขั้วของพันธะหักล้างกันหมด ดังตาราง 3.14

ตาราง 3.14 ตัวอย่างรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว

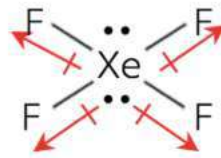
สูตรทั่วไป	รูปร่างโมเลกุล	ตัวอย่างโมเลกุล
AB_2	เส้นตรง (linear)	
AB_3	สามเหลี่ยมแบนราบ (trigonal planar)	
AB_4	ทรงสี่หน้า (tetrahedral)	
AB_5	พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม (trigonal bipyramidal)	
AB_6	ทรงแปดหน้า (octahedral)	

สำหรับโมเลกุลที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว หรือมีอะตอมล้อมรอบเป็นธาตุต่างชนิดกัน ส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลมีขั้ว เนื่องจากเวกเตอร์สภาพขั้วของพันธะหักล้างกันไม่หมด เช่น H_2O NH_3 $CHCl_3$ ดังรูป 3.12



รูป 3.12 ตัวอย่างโมเลกุลโคเวเลนต์มีขั้ว

โมเลกุลที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลมีขั้ว แต่มีบางชนิดที่อาจเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว เช่น XeF_4 เนื่องจากมีรูปร่างโมเลกุลแบบสี่เหลี่ยมแบนราบ ทำให้เวกเตอร์สภาพขั้วของพันธะ Xe-F หักล้างกันหมด



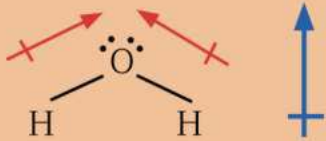
ความรู้เพิ่มเติม

สภาพขั้วของโมเลกุลสามารถใช้ทำนายการละลายเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างสารโคเวเลนต์ 2 ชนิดได้ สารที่มีสภาพขั้วใกล้เคียงกันจะละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนสารที่มีสภาพขั้วต่างกันมากจะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งหลักการนี้เรียกว่า like dissolve like



แบบฝึกหัด 3.10

1. ระบุรูปร่างโมเลกุล และแสดงทิศทางขั้วของพันธะและทิศทางขั้วของโมเลกุล พร้อมระบุว่า เป็นโมเลกุลโคเวเลนต์มีขั้วหรือไม่ ลงในตารางให้ถูกต้อง

ข้อ	สาร	รูปร่างโมเลกุล	ทิศทางขั้วของพันธะและ ทิศทางขั้วของโมเลกุล	สภาพขั้ว ของโมเลกุล
ตัวอย่าง	H ₂ O	มุมงอ (bent)		มีขั้ว
1.1	OF ₂			
1.2	CBrN			
1.3	PH ₃			
1.4	CBr ₄			

2. กำหนดให้ธาตุ X และ Y มีเลขอะตอม 32 และ 51 ตามลำดับ ถ้า X และ Y เกิดสารประกอบกับคลอรีนตามกฎออกเตต จะมีสูตรโมเลกุล รูปร่างโมเลกุล และสภาพขั้วของโมเลกุลเป็นอย่างไร

3.3.6 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและสมบัติของสารโคเวเลนต์

ที่อุณหภูมิห้อง สารโคเวเลนต์แต่ละชนิดอาจอยู่ในสถานะที่ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) หรือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) โดยในสถานะของแข็งโมเลกุลอยู่ชิดกันจนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก ในสถานะของเหลวโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้แต่ยังคงอยู่ชิดกันและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยกว่าในของแข็ง ส่วนในสถานะแก๊สโมเลกุลอยู่ห่างกัน สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมากจนถือว่าไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

ดังนั้นการเปลี่ยนสถานะของสารจากของแข็งเป็นของเหลว หรือของเหลวเป็นแก๊ส จึงเกี่ยวข้องกับการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโดยไม่มีการทำลายพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีค่าพลังงานน้อยกว่าพันธะโคเวเลนต์มาก สามารถทำลายได้ด้วยการให้พลังงานความร้อนแก่สาร จนกระทั่งโมเลกุลของสารมีพลังงานจลน์สูงพอที่จะเกิดการเปลี่ยนสถานะได้ ดังนั้นสารแต่ละชนิดซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แตกต่างกัน จะมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดที่ต่างกัน ดังตาราง 3.15

ตาราง 3.15 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของแก๊สมีสกุลและสารโคเวเลนต์บางชนิด

สารโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว			สารโคเวเลนต์มีขั้ว		
สาร	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	สาร	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
He	-272	-269	NH ₃	-78	-33
Ne	-249	-246	PH ₃	-133	-88
Ar	-189	-186	AsH ₃	-116	-55
Kr	-157	-152	SbH ₃	-88	-17
F ₂	-220	-188	H ₂ O	0	100
Cl ₂	-101	-35	H ₂ S	-86	-60
Br ₂	-7	59	H ₂ Se	-64	-41
I ₂	114	184	H ₂ Te	-49	-2
CH ₄	-182	-161	HF	-83	19
SiH ₄	-185	-112	HCl	-114	-85
GeH ₄	-165	-88	HBr	-87	-67
SnH ₄	-150	-52	HI	-51	-35

นอกจากจุดหลอมเหลวของสารจะเกี่ยวข้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแล้วยังขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียงโมเลกุลในของแข็ง ทำให้แนวโน้มของจุดหลอมเหลวอาจไม่สอดคล้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโดยตรง ดังนั้นการศึกษาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจึงนิยมพิจารณาจากจุดเดือดของสาร จากข้อมูลในตาราง 3.15 จะเห็นว่าแก๊สมีสกุลและสารโคเวเลนต์ไม่มีขั้วส่วนใหญ่มีจุดเดือดต่ำ แสดงว่าสารเหล่านี้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังมีจุดเดือดเพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุล เช่น F_2 Cl_2 Br_2 I_2 มีจุดเดือดเพิ่มขึ้นตามลำดับ แล้วเพราะเหตุใด SiH_4 จึงมีจุดเดือดต่ำกว่า HCl ทั้งที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า

จากข้อมูลในตาราง 3.15 จะเห็นว่า สารโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว เช่น SiH_4 มีจุดเดือดต่ำกว่าสารโคเวเลนต์มีขั้ว เช่น HCl แสดงว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้วของโมเลกุล

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวข้องกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีหลายชนิดและมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง 3 ชนิดที่สำคัญ ดังนี้

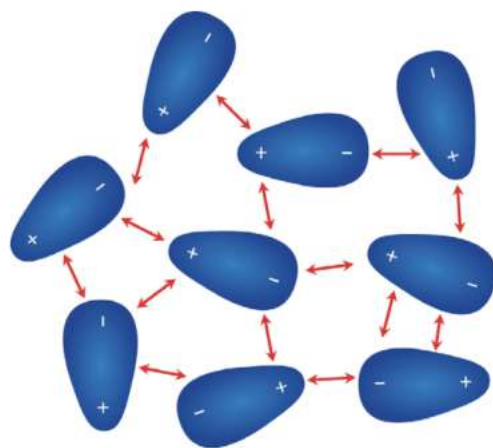
1. แรงแผ่กระจายลอนดอน (London dispersion force)⁸

แรงแผ่กระจายลอนดอนเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วหรืออะตอมแก๊สมีสกุล ซึ่งเป็นแรงอย่างอ่อน ๆ ที่เกิดจากการกระจายของอิเล็กตรอนในอะตอมขณะใดขณะหนึ่งซึ่งอาจไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วขณะ แล้วเหนี่ยวนำให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกิดขั้วตรงข้ามและมีแรงดึงดูดชั่วขณะ ดังรูป 3.13 โดยแรงแผ่กระจายลอนดอนเพิ่มขึ้นตามขนาดของโมเลกุล เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่สามารถเกิดสภาพขั้วชั่วขณะได้มากกว่า

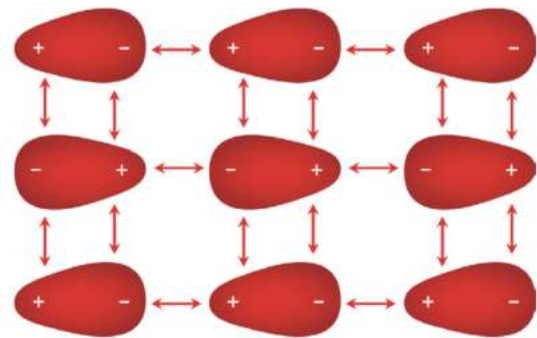
2. แรงระหว่างขั้ว (dipole – dipole force)

สำหรับโมเลกุลมีขั้ว เช่น HBr H_2S PH_3 นอกจากมีแรงแผ่กระจายลอนดอนแล้วยังมีแรงดึงดูดที่เกิดจากสภาพขั้วของโมเลกุล โดยโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะหันส่วนของโมเลกุลที่มีขั้วตรงข้ามกันเข้าหากันเกิดเป็นแรงดึงดูดทางไฟฟ้าจากสภาพขั้วนี้ ดังรูป 3.13 โดยทั่วไปแรงระหว่างขั้วเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้วของโมเลกุลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

⁸ ฟรีตซ์ ลอนดอน (Fritz London) เป็นผู้นำเสนอแรงแผ่กระจายลอนดอน หรืออาจเรียกว่า Dispersion force หรือ London force



แรงแผ่กระจายลอนดอนระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว
ที่เกิดจากสภาพชั่วขณะ



แรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีขั้ว
ที่เกิดจากสภาพชั่ว

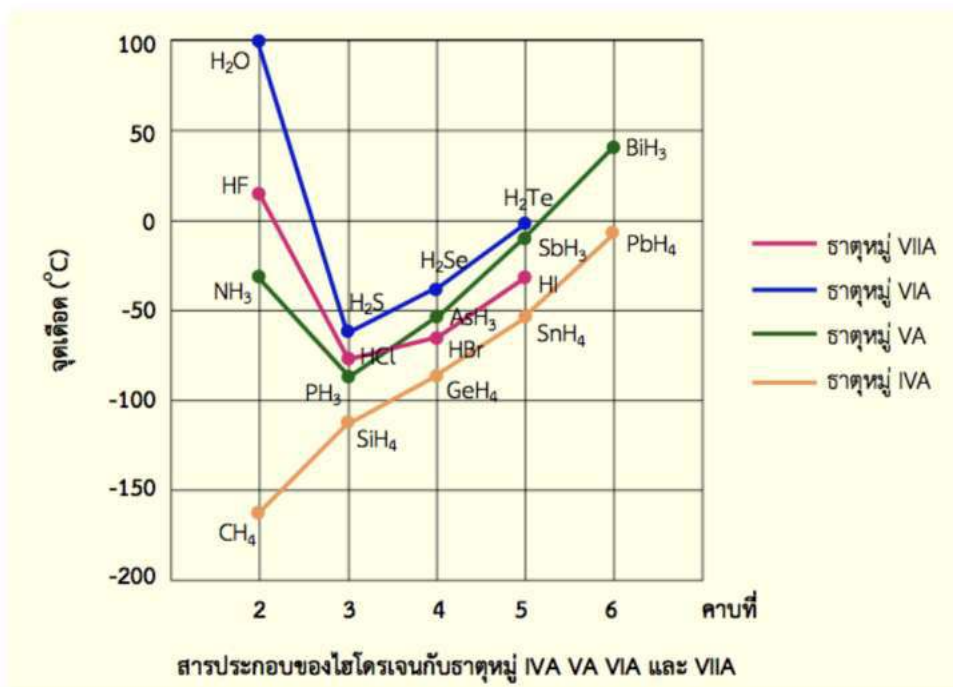
รูป 3.13 แรงกระทำระหว่างโมเลกุล

3. พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

จากตาราง 3.15 เมื่อพิจารณาจุดเดือดของสารประกอบของไฮโดรเจนกับธาตุหมู่ VIIA เช่น HF HCl HBr HI จะเห็นว่า HF มีจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบอื่น ทั้งที่ HF มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด ซึ่งไม่เป็นไปตามแนวโน้มของขนาดโมเลกุลดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงว่า HF มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่าสารประกอบของไฮโดรเจนกับธาตุหมู่ VIIA อื่น ๆ ทั้งนี้เพราะผลต่างของอิเล็กโตรเนกาติวิตีระหว่างไฮโดรเจนกับฟลูออรีนมีค่ามาก ทำให้กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนอยู่ทางด้านอะตอมฟลูออรีนที่มีขนาดเล็กอย่างหนาแน่น อะตอมฟลูออรีนและไฮโดรเจนมีสภาพขั้วสูงกว่าในกรณีของ HCl HBr และ HI มาก ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ HF มากด้วย แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมไฮโดรเจนของโมเลกุลหนึ่งกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวบนอะตอมของธาตุที่มีขนาดเล็กและมีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงของอีกโมเลกุลหนึ่งเรียกแรงดึงดูดนี้ว่า พันธะไฮโดรเจน โดยพันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงมากกว่าแรงระหว่างขั้วทั่ว ๆ ไปประมาณ 5 – 10 เท่า

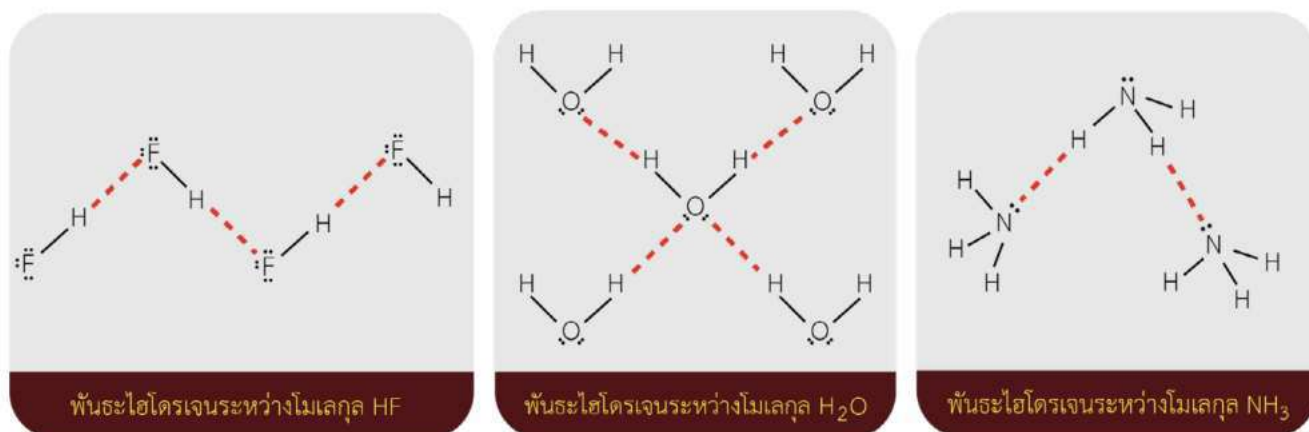
พันธะไฮโดรเจนเหมือนหรือต่างกันอย่างไรกับพันธะในโมเลกุลไฮโดรเจน และจากตาราง 3.15 นอกจาก HF แล้วสารใดที่อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนได้

H_2O และ NH_3 มีจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบไฮโดรเจนของธาตุในหมู่เดียวกับธาตุออกซิเจนและธาตุไนโตรเจน ตามลำดับ และค่าจุดเดือดไม่เป็นไปตามแนวโน้มของขนาดโมเลกุล ดังกราฟในรูป 3.14 แสดงว่า H_2O และ NH_3 มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนเช่นเดียวกับ HF



รูป 3.14 กราฟแสดงจุดเดือดของสารประกอบของไฮโดรเจนกับธาตุหมู่ IVA VA VIA และ VIIA

โมเลกุล HF เกิดพันธะไฮโดรเจนโดยหันด้านอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนน้อยและมีประจุไฟฟ้าค่อนข้างบวกสูง ดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมฟลูออรีนที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากและมีประจุไฟฟ้าค่อนข้างลบของอีกโมเลกุลหนึ่ง ซึ่งพันธะไฮโดรเจนของ H₂O และ NH₃ ก็สามารถแสดงได้ในทำนองเดียวกัน ดังรูป 3.15



รูป 3.15 ตัวอย่างสารประกอบที่เกิดพันธะไฮโดรเจน
(- แทนพันธะโคเวเลนต์ และ แทนพันธะไฮโดรเจน)

จากรูป 3.15 โมเลกุล H_2O มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 2 คู่ บนอะตอมออกซิเจนและมีอะตอมไฮโดรเจน 2 อะตอม จึงทำให้ H_2O แต่ละโมเลกุลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลข้างเคียง 4 โมเลกุล อย่างต่อเนื่องเป็นโครงร่างตาข่าย หรือคิดเป็น 2 พันธะไฮโดรเจนต่อ H_2O 1 โมเลกุล จึงทำให้น้ำมีจุดเดือดสูงกว่า HF ซึ่งมีพันธะไฮโดรเจน 1 พันธะต่อ HF 1 โมเลกุล ทั้งที่พันธะ H-O มีสภาพขั้วน้อยกว่าพันธะ H-F

นอกจาก HF H_2O และ NH_3 แล้ว ยังพบว่าสารอื่นที่มีพันธะ O-H และ N-H ในโมเลกุลยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสารได้ เช่น CH_3OH H_2O_2 HCOOH CH_3NH_2 ซึ่งมีผลทำให้สารเหล่านี้มีจุดเดือดสูงกว่าสารที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงกันที่ไม่มีพันธะไฮโดรเจนได้

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีผลต่อการละลายน้ำของสาร โดยสารโคเวเลนต์ที่ไม่มีขั้วส่วนใหญ่ไม่ละลายหรือละลายน้ำได้น้อย เช่น CCl_4 N_2 O_2 ส่วนสารโคเวเลนต์ที่โมเลกุลมีสภาพขั้วสูง เช่น HCl HBr HI สามารถแตกตัวและละลายน้ำได้สารละลายที่เป็นกรด และโมเลกุลที่เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เช่น NH_3 ละลายน้ำได้ นอกจากนี้สารละลายที่เกิดจากสารโคเวเลนต์ประเภทคลอไรด์และออกไซด์เมื่อเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะได้สารละลายที่เป็นกรด เช่น CO_2 SO_2 PCl_5

สารโคเวเลนต์ที่ละลายน้ำมีทั้งแตกตัวและไม่แตกตัวเป็นไอออน สารละลายที่ได้จากสารที่แตกตัวเป็นไอออนจะนำไฟฟ้าเรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ส่วนสารละลายที่ได้จากสารที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนจะไม่นำไฟฟ้าเรียกว่า สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์



แบบฝึกหัด 3.11

1. ระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - 1.1 มีเทน (CH_4)
 - 1.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)
 - 1.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
 - 1.4 กรดแอสติก (CH_3COOH)
 - 1.5 คาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะของแข็งหรือน้ำแข็งแห้ง (CO_2)
2. เปรียบเทียบจุดเดือดระหว่างสารที่กำหนดให้ พร้อมอธิบายเหตุผล
 - 2.1 H_2 กับ Br_2
 - 2.2 HF กับ HI
 - 2.3 NH_3 กับ NF_3
 - 2.4 SiH_4 กับ SnH_4
 - 2.5 CH_3Cl กับ CH_3OH
3. เมทานอล (CH_3OH) กับไตรคลอโรมีเทน (CHCl_3) สารหนึ่งละลายน้ำ ส่วนอีกสารหนึ่งไม่ละลายน้ำ เพราะเหตุใด

3.3.7 สารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่าย

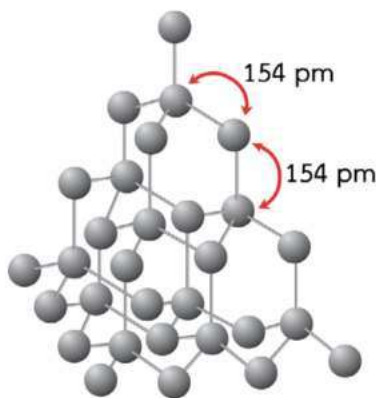
สารโคเวเลนต์ที่ศึกษามาแล้วส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำ แต่มีสารโคเวเลนต์บางชนิดที่พบว่า มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงมาก เช่น เพชร แกรไฟต์ ซึ่งไม่พบในสถานะของเหลวหรือแก๊สที่อุณหภูมิและความดันปกติ ทั้งที่เป็นสารโคเวเลนต์ของธาตุคาร์บอน ทั้งนี้เนื่องจากพันธะโคเวเลนต์ในเพชรและแกรไฟต์มีการเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่องเป็นโครงร่างตาข่าย ทำให้การหลอมเหลวหรือการเดือดของสารทั้งสองต้องใช้พลังงานสูงกว่าพลังงานพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมคาร์บอน

สารที่มีพันธะโคเวเลนต์เชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างตาข่าย เรียกว่า **สารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่าย** (covalent network) โดยสารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่ายที่มีโครงสร้างต่างกันทำให้สารบางชนิดมีหลายอัญรูป เช่น เพชร แกรไฟต์ เป็นอัญรูปของคาร์บอนที่มีโครงสร้างและสมบัติต่างกัน โดยเพชรมีโครงสร้างเป็นทรงสี่หน้าเชื่อมต่อกันใน 3 มิติ มีสมบัติไม่นำไฟฟ้า แต่แกรไฟต์มีโครงสร้างเป็นวงหกเหลี่ยมเชื่อมต่อกันใน 2 มิติเป็นชั้น ๆ มีสมบัตินำไฟฟ้าได้ ดังรูป 3.16

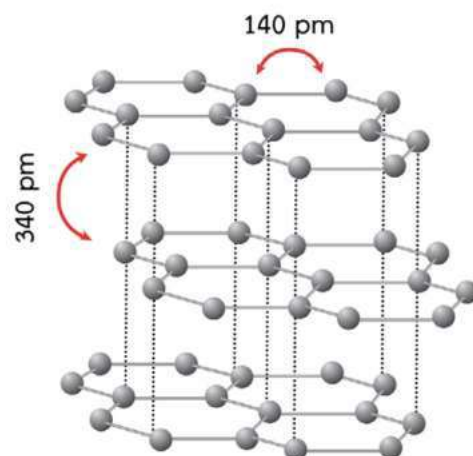


ศัพท์น่ารู้

อัญรูป (allotrope) เป็นรูปแบบต่าง ๆ ของธาตุเดียวกัน แต่ต่างกันที่การจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้าง เช่น เพชร แกรไฟต์ ถ่าน เป็นอัญรูปของธาตุคาร์บอน



เพชร



แกรไฟต์

รูป 3.16 โครงสร้างของเพชรและแกรไฟต์

นอกจากเพชรและแกรไฟต์แล้วยังมีสารอื่นที่เป็นสารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่ายที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีสมบัติโปร่งใส จึงนำมาหลอมที่อุณหภูมิสูงทำเป็นแก้วหรือกระจก



กิจกรรม 3.3 สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างโครงสร้าง สมบัติ และการนำไปใช้ประโยชน์ของสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย

วิธีทำกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง สมบัติ และการนำไปใช้ประโยชน์ ของสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย แล้วนำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ

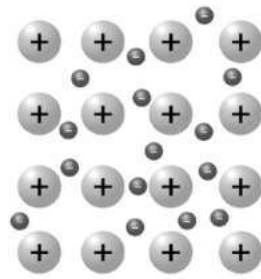
3.4 พันธะโลหะ

โลหะบางชนิด เช่น ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) มีสมบัติบางประการคล้ายกัน แสดงว่าสารเหล่านี้มีการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่เหมือนกัน แล้วอะตอมธาตุโลหะสร้างพันธะเคมีระหว่างกันอย่างไร เหมือนหรือต่างจากพันธะไอออนิกและพันธะโคเวเลนต์หรือไม่

3.4.1 การเกิดพันธะโลหะ

จากที่ทราบแล้วว่าโลหะส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของแข็ง มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง ผิวมันวาว สามารถนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี จากสมบัติดังกล่าวจะเห็นว่าโลหะมีสมบัติบางประการคล้ายกับสารประกอบไอออนิก เช่น มีสถานะของแข็ง จุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง แต่มีสมบัติบางประการที่แตกต่างจากสารประกอบไอออนิก เช่น การนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดีในสถานะของแข็ง ผิวมันวาว และสมบัติส่วนใหญ่ต่างจากพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งแสดงว่าโลหะน่าจะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะที่แตกต่างจากพันธะไอออนิกและพันธะโคเวเลนต์

การที่อะตอมของโลหะมีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำ การยึดเหนี่ยวระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียสจึงน้อย ทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย อิสระไปทั่วทั้งชิ้นโลหะและเกิดการยึดเหนี่ยวกับโปรตอนในนิวเคลียสทุกทิศทุกทาง การยึดเหนี่ยวนี้เรียกว่า **พันธะโลหะ** (metallic bond) การเกิดพันธะโลหะอาจแสดงได้ด้วยแบบจำลองทะเลอิเล็กตรอน (electron sea model) ดังรูป 3.17



รูป 3.17 แบบจำลองทะเลอิเล็กตรอน
ในการเกิดพันธะโลหะ

3.4.2 สมบัติของโลหะ

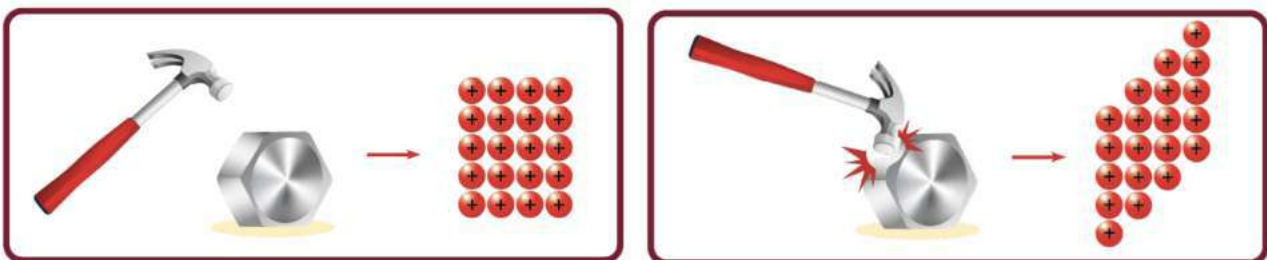
อะตอมของโลหะอยู่ค่อนข้างชิดกันและเรียงต่อเนื่องกันไม่มีที่สิ้นสุด โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปทั่วทั้งชิ้นโลหะ ทำให้โลหะมีสมบัติเฉพาะตัวหลายประการที่แตกต่างจากสารอื่น

โลหะมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง เนื่องจากมีโปรตอนและอิเล็กตรอนจำนวนมากยึดเหนี่ยวกันอย่างต่อเนื่องทุกอะตอม การหลอมเหลวหรือทำให้กลายเป็นไอจึงต้องใช้พลังงานสูงเพื่อทำลายพันธะโลหะเหล่านี้ เช่น การหลอมเหลวทองแดงต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1085 องศาเซลเซียส และการทำให้ทองแดงที่หลอมเหลวแล้วเดือดกลายเป็นไอต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 2572 องศาเซลเซียส

โลหะมีผิวมันวาวและสามารถสะท้อนแสงได้ ซึ่งเกิดจากกลุ่มเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้โดยอิสระ เมื่อกระทบกับแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อิเล็กตรอนเหล่านั้นจะรับและปล่อยคลื่นแสงออกมา ผิวของโลหะจึงเป็นมันวาวและสะท้อนแสงได้ดี

โลหะนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี เนื่องจากเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้โดยอิสระทั่วทั้งชิ้นโลหะสามารถเป็นสื่อนำไฟฟ้าและความร้อนต่อเนื่องกันได้ทั่วชิ้นโลหะ

นอกจากนี้โลหะยังสามารถตีให้แผ่ออกเป็นแผ่นและดึงเป็นเส้นได้ เนื่องจากอะตอมโลหะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ อย่างมีระเบียบ การทุบแผ่นโลหะเป็นการผลักให้ชั้นของอะตอมโลหะเลื่อนไถลออกไปจากตำแหน่งเดิม ทำให้แผ่นโลหะยาวออกไปและบางลง แต่อะตอมของโลหะในตำแหน่งใหม่ไม่หลุดออกจากกันเพราะมีกลุ่มเวเลนซ์อิเล็กตรอนยึดอนุภาคเหล่านั้นไว้ ดังนั้นจึงตีหรือรีดโลหะให้แผ่ออกเป็นแผ่นบาง ๆ หรือดัดให้โค้งงอ หรือดึงเป็นเส้นได้ ดังรูป 3.18



รูป 3.18 การเลื่อนไถลของอะตอมโลหะเมื่อถูกแรงกระทำ

3.5 การใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ

สารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ มีสมบัติบางประการที่ต่างกัน พิจารณาจากตาราง 3.16

ตาราง 3.16 สมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ

ตัวอย่างสาร	สมบัติของสาร			
	ลักษณะที่ปรากฏ ที่ 25 °C	การ นำไฟฟ้า	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
สารประกอบไอออนิก				
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	ของแข็งสีขาว	ไม่นำ	801	1465
โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	ของแข็งสีขาว	ไม่นำ	681	1330
แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF ₂)	ของแข็งสีขาว	ไม่นำ	1418	2533
สารโคเวเลนต์				
แก๊สไฮโดรเจน (H ₂)	แก๊สไม่มีสี	ไม่นำ	-259	-253
เอทานอล (C ₂ H ₆ O)	ของเหลวใสไม่มีสี	ไม่นำ	-114.1	78.3
น้ำตาลทราย (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	ของแข็งสีขาว	ไม่นำ	192 (สลายตัว)	-
โลหะ				
เหล็ก (Fe)	ของแข็งสีเงินวาว	นำ	1535	2750
ทองแดง (Cu)	ของแข็งสีน้ำตาลแดง	นำ	1085	2572
โครเมียม (Cr)	ของแข็งสีเงินวาว	นำ	1857	2672

จากการที่สารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ มีสมบัติเฉพาะตัวบางประการที่ต่างกัน เช่น จุดเดือด จุดหลอมเหลว การนำไฟฟ้า การละลายน้ำ จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสม เช่น

- แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) เป็นสารประกอบไอออนิก ที่สามารถนำไฟฟ้าได้จากการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อละลายน้ำ จึงนำไปใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในถ่านไฟฉาย
- พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$)_n เป็นสารโคเวเลนต์ ที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ จึงนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าที่หุ้มสายไฟฟ้า
- ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) เป็นสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย ที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2830 องศาเซลเซียสและความแข็งแรงมาก จึงนำไปใช้ทำเครื่องบด เครื่องโม่ และหินลับมีด
- ทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) เป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดี จึงนำไปใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า โดยโลหะทองแดงนำไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะอะลูมิเนียมจึงใช้ในสายไฟฟ้าตามอาคารบ้านเรือน ส่วนโลหะอะลูมิเนียมซึ่งมีลักษณะเบากว่าถึงแม้จะนำไฟฟ้าได้ไม่ดีเท่าทองแดงก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้สำหรับกรณีที่ต้องการลดค่าใช้จ่ายและน้ำหนักของวัสดุ
- อะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) เป็นโลหะที่นำความร้อนได้ดี จึงนำไปใช้ทำภาชนะสำหรับการประกอบอาหาร เช่น หม้อ กระทะ



ความรู้เพิ่มเติม

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ทำให้ได้สารที่มีสมบัติตรงกับการใช้งานมากขึ้น เช่น ความก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยี

นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้าง หรือการสังเคราะห์ รวมไปถึงการออกแบบและใช้เครื่องมือเพื่อสร้างวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารที่มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 1 – 100 นาโนเมตร ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างของวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารมีสมบัติเปลี่ยนไปไม่ว่าจะเป็นทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการได้ (ตามความหมายของมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติ National Science Foundation, NSF) ตัวอย่างวัสดุนาโน เช่น แกรฟีนและคาร์บอนนาโน



กิจกรรม 3.4 สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการนำสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ ไปใช้ประโยชน์ ตามสมบัติของพันธะไอออนิก พันธะโคเวเลนต์ และพันธะโลหะ

วิธีทำกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการนำสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ ไปใช้ประโยชน์ ตามสมบัติของพันธะไอออนิก พันธะโคเวเลนต์ และพันธะโลหะ ตามลำดับ แล้วนำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

สารในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปอะตอมเดี่ยว แต่จะประกอบด้วยหลายอะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรืออะตอมต่างชนิดกัน ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเคมี โดยพันธะเคมีมี 3 ประเภท ได้แก่ พันธะไอออนิก พันธะโคเวเลนต์ และพันธะโลหะ เกิดเป็นสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ ตามลำดับ

พันธะไอออนิกเกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างประจุไฟฟ้าของไอออนบวกกับไอออนลบ ซึ่งส่วนใหญ่ไอออนบวกเกิดจากโลหะเสียอิเล็กตรอน และไอออนลบเกิดจากอโลหะรับอิเล็กตรอน เกิดเป็นสารประกอบไอออนิกที่ส่วนใหญ่เป็นผลึกของแข็ง เปราะ มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง ละลายน้ำได้ ไม่นำไฟฟ้าเมื่อเป็นของแข็ง แต่นำไฟฟ้าได้เมื่อหลอมเหลวหรือละลายในน้ำ

พันธะโคเวเลนต์เกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมธาตุ 2 อะตอม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นธาตุอโลหะ โดยการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เกิดเป็นสารโคเวเลนต์ที่ส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำ ไม่ละลายน้ำ และไม่นำไฟฟ้า ส่วนสารที่มีพันธะโคเวเลนต์ต่อเนื่องกันไปในสามมิติเป็นสารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่ายที่มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง

พันธะโลหะเกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอมธาตุโลหะกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไปทั่วทั้งชิ้นโลหะ โดยโลหะส่วนใหญ่เป็นของแข็ง มีผิวมันวาว ตีเป็นแผ่นหรือดัดเป็นเส้นได้ นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง

การที่สารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ มีสมบัติเฉพาะตัวบางประการที่ต่างกัน จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสม



แบบฝึกหัดท้ายบท

1. พิจารณาสถิติของสาร A B C และ D ต่อไปนี้

สาร	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)	การละลายน้ำ	การนำไฟฟ้า	
				เมื่อเป็นของแข็ง	เมื่อหลอมเหลว
A	1330	681	ละลาย	ไม่นำ	นำ
B	2562	1085	ไม่ละลาย	นำ	นำ
C	-100	-127	ไม่ละลาย	ไม่นำ	ไม่นำ
D	2230	1713	ไม่ละลาย	ไม่นำ	ไม่นำ

สาร A B C และ D เป็นสารประเภทใด เพราะเหตุใด

2. กำหนดธาตุสมมติในตารางธาตุดังนี้

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
A		B			C	D	
E	F			G			H

ตอบคำถามต่อไปนี้

- 2.1 เขียนไอออนที่เสถียรของธาตุทั้งหมด
- 2.2 ธาตุไนโตรเจนรวมตัวกับธาตุใดบ้างเกิดพันธะโคเวเลนต์
- 2.3 ธาตุ A กับ C และธาตุ B กับ D เมื่อเกิดสารประกอบจะมีสูตรเคมีเป็นอย่างไร
- 2.4 X และ Y เกิดสารประกอบออกไซด์ที่มีสูตรเป็น X_2O และ Y_2O_3 ดังนั้น X และ Y เป็นธาตุใดบ้างในตาราง

3. เขียนสูตรและชื่อสาร พร้อมทั้งใส่เครื่องหมาย ✓ เพื่อระบุประเภทของสารต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

ธาตุ	สูตร	ชื่อสาร	ประเภทของสาร	
			สารโคเวเลนต์	สารประกอบไอออนิก
F กับ O				
Li กับ F				
Be กับ Cl				
Ca กับ O				
Cl กับ Cs				

4. เขียนสูตรและชื่อสาร พร้อมทั้งระบุชนิดของสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุคลอรีนกับธาตุต่อไปนี้

- 4.1 ธาตุลิเทียม
- 4.2 ธาตุโบรอน
- 4.3 ธาตุไนโตรเจน
- 4.4 ธาตุแมกนีเซียม
- 4.5 ธาตุอะลูมิเนียม

5. เปรียบเทียบสมบัติของสารประกอบที่เกิดจากธาตุหมู่ IIA กับหมู่ VIA และสารประกอบที่เกิดจากไฮโดรเจนกับธาตุหมู่ VIA ในประเด็นต่อไปนี้

- 5.1 อัตราส่วนจำนวนอะตอมของธาตุที่รวมกันเป็นสารประกอบ
- 5.2 จุดหลอมเหลวและจุดเดือด
- 5.3 การนำไฟฟ้าของสารเมื่อมีสถานะเป็นของเหลว

6. เขียนสมการแสดงการคำนวณพลังงานของการเกิดสารประกอบลิเทียมอะลูมิเนียมไฮไดรด์ (LiAlH_4) และคำนวณพลังงานแลตทิซของ LiAlH_4 จากค่าพลังงานที่กำหนดให้ต่อไปนี้

ชนิดของพลังงาน	ค่าของพลังงาน (kJ/mol)
พลังงานการระเหิดของ Al	330
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของ Al	577
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 2 ของ Al	1823
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 3 ของ Al	2751
พลังงานการระเหิดของ Li	159
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของ Li	520
พลังงานพันธะของ H_2	436
สัมพรรคภาพอิเล็กตรอนลำดับที่ 1 ของ H	73
พลังงานรวมของการเกิดปฏิกิริยา	-116.3

7. เมื่อให้พลังงานแก่แก๊สไฮโดรเจนจนกลายเป็นอะตอมไฮโดรเจนดังสมการ



พิจารณาว่าข้อใดผิด ข้อใดถูก พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ

- 7.1 เมื่ออะตอมไฮโดรเจนรวมตัวกันเกิดเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรเจน จะมีการดูดพลังงาน
 - 7.2 โมเลกุลแก๊สไฮโดรเจนมีเสถียรภาพต่ำกว่าอะตอมไฮโดรเจน
 - 7.3 เมื่ออะตอมไฮโดรเจน 1 โมล รวมกันเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรเจน จะมีการคายพลังงาน 436 กิโลจูล
 - 7.4 อะตอมไฮโดรเจน 2 อะตอมมีพลังงานสูงกว่าไฮโดรเจน 1 โมเลกุล
8. คำนวณพลังงานต่อโมลของแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังสมการ



9. เขียนโครงสร้างลิวอิส สภาพขั้วของพันธะ สภาพขั้วของโมเลกุล และบอกรูปร่างโมเลกุลของสารต่อไปนี้



10. เรียงลำดับสภาพขั้วของพันธะต่อไปนี้จากน้อยไปมาก



11. ระบุชนิดของพันธะและแรงยึดเหนี่ยวที่สำคัญระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาคของสารต่อไปนี้



12. เพราะเหตุใดจึงสามารถตีทองคำแท่งให้เป็นเส้นทองคำได้

13. สารประกอบไอออนิกและโลหะเมื่อหลอมเหลวสามารถนำไฟฟ้าได้แตกต่างกับเมื่อเป็นของแข็งหรือไม่ อย่างไร

14. สาร A มีสถานะของแข็งในธรรมชาติ ทนความร้อนได้สูงกว่าสาร B และสาร C สาร A สถานะของแข็งสามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อให้อุณหภูมิสูงมาก ๆ จนถึงจุดหนึ่งสามารถหลอมได้ผลิตผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนสาร B สามารถนำไฟฟ้าได้ในสถานะของเหลว สารละลายของสาร B มีค่า pH เป็นกลาง สาร C สามารถนำไฟฟ้าได้ทั้งสถานะของแข็งและของเหลว มีเพียงสาร C ชนิดเดียวที่ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ได้ตะกอนสีขาว และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) สาร A B และ C เป็นสารใดจากสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้

น้ำตาลทราย ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) แกรไฟต์ (C) เกลือแกง (NaCl) ตะกั่ว (Pb) แมกนีเซียม (Mg)

ภาคผนวก

ขั้นตอนการใช้งานอุปกรณ์วัดปริมาณสาร

ขั้นตอนการใช้ปิเปตต์

1. ก่อนใช้ปิเปตต์ต้องล้างด้วยของเหลวที่จะใช้บรรจุ จากนั้นใช้มือข้างที่ไม่ถนัดบีบอากาศออกจากลูกยาง แล้วนำลูกยางไปสวมที่ปลายบนของปิเปตต์ จากนั้นจุ่มปลายปิเปตต์ลงในของเหลวที่จะวัดปริมาตรโดยให้ปลายปิเปตต์อยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลว
2. ค่อย ๆ คลายมือที่บีบลูกยางเพื่อดูของเหลวเข้ามาในปิเปตต์ โดยให้ปลายปิเปตต์จุ่มอยู่ในของเหลวตลอดเวลาที่ทำการดูด และให้ดูของเหลวขึ้นมาในปิเปตต์จนเลยขีดบอกปริมาตรบนก้านปิเปตต์ประมาณ 1 เซนติเมตร ดึงลูกยางออกแล้วใช้นิ้วชี้ของมือข้างที่ถนัดปิดปลายบนปิเปตต์ให้แน่นโดยทันที ระมัดระวังอย่าให้ของเหลวไหลเข้าลูกยาง
3. จับก้านปิเปตต์ด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วกลาง แล้วยกปิเปตต์ขึ้นให้พ้นจากของเหลว ใช้กระดาษชำระซับหยดของเหลวที่เกาะอยู่ภายนอกของปิเปตต์ให้แห้ง
4. จับปิเปตต์ให้ตั้งตรงในแนวตั้งแล้วค่อย ๆ ผ่อนนิ้วชี้ที่ปิดปิเปตต์ เพื่อให้ของเหลวที่เกินขีดบอกปริมาตรไหลออกไป จนกระทั่งส่วนโค้งของของเหลวอยู่ตรงตำแหน่งขีดบอกปริมาตรพอดี แล้วจึงใช้นิ้วชี้ปิดให้แน่น
5. ถ่ายเทของเหลวลงในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยจับปิเปตต์ให้ตั้งตรงในแนวตั้ง แล้วปล่อยนิ้วชี้ให้ของเหลวไหลลงตามแรงโน้มถ่วงจนหมด แล้วแตะปลายปิเปตต์กับข้างภาชนะ โดยไม่เขย่า หรือเคาะปิเปตต์กับข้างภาชนะที่รองรับ ทั้งนี้ปิเปตต์ที่ใช้งานในระดับมัธยมศึกษาส่วนใหญ่เป็นแบบที่ไม่ต้องเป่าของเหลวที่เหลือค้างอยู่ที่ปลายปิเปตต์

ขั้นตอนการใช้งานบิวเรตต์

1. ก่อนใช้บิวเรตต์ต้องล้างด้วยของเหลวที่จะใช้บรรจุ จากนั้นให้ใช้ขาตั้งและที่จับยึดบิวเรตต์ให้อยู่ในแนวตั้ง
2. ก่อนจะบรรจุของเหลวใส่บิวเรตต์นั้นต้องตรวจสอบก่อนว่าก๊อกปิดเปิดอยู่ในตำแหน่งที่ปิด จากนั้นบรรจุของเหลวหากไม่ชำนาญอาจเทผ่านกรวยแก้ว การบรรจุของเหลวใส่บิวเรตต์นั้นจะไม่ทำเหนือระดับสายตา เนื่องจากของเหลวอาจกระเด็นเข้าตาได้ แล้วปรับก๊อกปิดเปิดให้ของเหลวไหลออกจากบิวเรตต์เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากปลายบิวเรตต์ให้หมด
3. บันทึกสเกลเริ่มต้นบนบิวเรตต์ แล้วเปิดก๊อกปิดเปิดเพื่อถ่ายของเหลวจากบิวเรตต์ลงในภาชนะอื่นตามปริมาตรที่ต้องการ อ่านสเกลของของเหลวที่เหลือ ปริมาตรของของเหลวที่ถ่ายออกเท่ากับผลต่างของสเกลสุดท้ายและสเกลเริ่มต้น การอ่านสเกลบนบิวเรตต์อ่านได้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และทศนิยมตำแหน่งที่สองเป็นได้ตั้งแต่ 0-9

การใช้งานขวดกำหนดปริมาตร

1. บรรจุสารที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในขวดกำหนดปริมาตร โดยอาจใช้กรวยกรองหรือปิเปตต์ตามความเหมาะสม
2. เติมตัวทำละลายลงไปให้มีปริมาตร 2 ใน 3 ของขวดกำหนดปริมาตรแล้วหมุนวนขวดกำหนดปริมาตรให้สารละลายผสมกัน
3. เติมตัวทำละลายจนถึงขีดบอกปริมาตร ปิดจุกและคว่ำขวดขึ้นลงให้สารละลายผสมกัน

ขั้นตอนการใช้เครื่องชั่งแบบสามคานและข้อควรระวัง

1. ติดตั้งเครื่องชั่งบนโต๊ะเครื่องชั่งหรือโต๊ะที่แข็งแรงและหน้าโต๊ะอยู่ในแนวระนาบ หลีกเลี่ยงบริเวณที่อาจถูกฝน ความร้อนจากแสงแดด และแรงลม รวมทั้งหลีกเลี่ยงบริเวณที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและมีแรงสั่นสะเทือน
2. พิจารณาส່วนประกอบของเครื่องชั่งว่ามีจำนวนคานชั่งเท่าใด แต่ละคานชั่งใช้แทนมวลกี่กรัม ชั่งมวลได้สูงสุดและละเอียดที่สุดกี่กรัม
3. คูสมดุลของคาน โดยสังเกตจากเข็มปลายคานทางขวามือว่าชี้ที่เลข 0 ตรงตำแหน่งสมดุลหรือไม่ ในขณะที่ตุ้มน้ำหนักทุกอันที่อยู่บนคานชั่งอยู่ที่ขีด 0 กรัม ในกรณีที่คานยังไม่สมดุลจะต้องหมุนสกรูสำหรับปรับมวลที่อยู่ทางด้านซ้ายสุดของคานจนกระทั่งเข็มชี้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์
4. ควรชั่งสารในภาชนะ เช่น ขวดชั่งสาร ปีกเกอร์ กระชกนาฬิกา และวางภาชนะไว้ตรงกึ่งกลางของจานชั่ง
5. การชั่งมวลของวัตถุต้องปรับเครื่องชั่งให้สมดุล โดยการเลื่อนตุ้มน้ำหนักบนคานชั่งจนเข็มชี้ที่เลข 0 ตรงตำแหน่งสมดุล ผลรวมของมวล ณ ตำแหน่งที่ตุ้มน้ำหนักแขวนอยู่บนคานชั่งแต่ละอันจะเป็นมวลของวัตถุที่ต้องการชั่ง
6. เมื่อชั่งเสร็จและบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องเลื่อนตุ้มน้ำหนักกลับไปตำแหน่ง 0 กรัม ตามเดิม นำวัตถุที่ชั่งออกจากจานให้หมด แล้วจึงทำความสะอาดเครื่องชั่ง

ขั้นตอนการใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าและข้อควรระวัง

1. ติดตั้งเครื่องชั่งบนโต๊ะเครื่องชั่งหรือโต๊ะที่แข็งแรงและหน้าโต๊ะอยู่ในแนวระนาบ หลีกเลี่ยงบริเวณที่อาจถูกฝน ความร้อนจากแสงแดด และแรงลม รวมทั้งหลีกเลี่ยงบริเวณที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและมีแรงสั่นสะเทือน
2. ปรับตำแหน่งของลูกน้ำให้อยู่ตรงกลางเครื่องหมายวงกลม ห้ามเคลื่อนย้ายเครื่องชั่งหลังปรับตำแหน่งของลูกน้ำ
3. เปิดเครื่องชั่งก่อนการใช้งานอย่างน้อย 30 นาที หรือตามข้อกำหนดในคู่มือ
4. ไม่ชั่งสารที่มีมวลมากกว่ามวลสูงสุดที่ระบุบนเครื่องชั่งหรือในคู่มือ สารที่ต้องการชั่งควรมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิห้อง
5. ควรชั่งสารในภาชนะ เช่น ขวดชั่งสาร ปีกเกอร์ กระจกนาฬิกา และวางภาชนะไว้ตรงกึ่งกลางของจานชั่ง
6. การชั่งสารที่มีสมบัติกัดกร่อนหรือสารที่ระเหยง่าย ควรใช้ภาชนะที่ปิดสนิท
7. หากมีสารเคมีหกบนเครื่องชั่ง ปิดเครื่องชั่ง และต้องทำความสะอาดทันที (ศึกษาวิธีการทำความสะอาดจากคู่มือ)
8. หมั่นดูแลรักษาความสะอาดของเครื่องชั่ง และควรคลุมเครื่องชั่งเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 1

กฎพีริออดิก	Periodic law
กฎออกเตต	Octet rule
กลุ่มหมอกอิเล็กตรอน	Electron cloud
กัมมันตภาพรังสี	Radioactivity
การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม	Electron configuration
การแผ่รังสี	Radiation
เกรตติง	Grating
แก๊สมีสกุล	Noble gas
ครึ่งชีวิต	Half life
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	Electromagnetic wave
ความยาวพันธะ	Bond length
ความยาวพันธะเฉลี่ย	Average bond length
ความเที่ยง	Precision
ความแม่นยำ	Accuracy
คาบ	Period
คูลอมบ์	Coulomb
แคโทด	Cathode
โครงสร้างเรโซแนนซ์	Resonance structure
โครงสร้างเรโซแนนซ์ผสม	Resonance hybrid
โครงสร้างลิวอิส	Lewis structure
โครงสร้างอะตอม	Atomic structure
ตารางธาตุ	Periodic table

แถบสเปกตรัม	Spectrum band
ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอน ในวงเวเลนซ์	Valence shell electron pair repulsion theory
ทรงแปดหน้า	Octahedral
ทรงสี่หน้า	Tetrahedral
ทรงสี่หน้าบิดเบี้ยว	Distorted tetrahedral or See-saw
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	Scientific process skill
ธาตุ	Element
ธาตุกัมมันตรังสี	Radioactive element
ธาตุกึ่งโลหะ	Metalloid
ธาตุแทรนซิชัน	Transition element
ธาตุหมู่หลัก	Main group element
ธาตุเรพรีเซนเททีฟ	Representative element
นิวตรอน	Neutron
แบบจำลองทะเลอิเล็กตรอน	Electron sea model
แบบจำลองอะตอม	Atomic model
แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก	Electron cloud model of atom
ปฏิกิริยานิวเคลียร์	Nuclear reaction
ปฏิกิริยาคายพลังงาน	Exothermic reaction
ปฏิกิริยาดูดพลังงาน	Endothermic reaction
ปฏิกิริยาลูกโซ่	Chain reaction
ประจุบวก	Positive charge
ประจุลบ	Negative charge
ประจุไฟฟ้า	Electric charge
ประจุไฟฟ้าค่อนข้างบวก	Partial positive charge
ประจุไฟฟ้าค่อนข้างลบ	Partial negative charge

โปรตอน	Proton
พลังงานการระเหิด	Heat of sublimation
พลังงานการเกิด	Heat of formation
พลังงานพันธะ	Bond energy
พลังงานพันธะเฉลี่ย	Average bond energy
พลังงานแลตทิซหรือพลังงานโครงผลึก	Lattice energy
พลังงานไอออไนเซชัน	Ionization energy
พลังงานไฮเดรชัน	Hydration energy
พันธะคู่	Double bond
พันธะเคมี	Chemical bond
พันธะโคเวเลนต์	Covalent bond
พันธะโคเวเลนต์มีขั้ว	Polar covalent bond
พันธะโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว	Non – polar covalent bond
พันธะเดี่ยว	Single bond
พันธะโลหะ	Metallic bond
พันธะสาม	Triple bond
พันธะไอออนิก	Ionic bond
พันธะไฮโดรเจน	Hydrogen bond
พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม	Trigonal bipyramidal
พีระมิดฐานสามเหลี่ยม	Trigonal pyramidal
พีระมิดฐานสี่เหลี่ยม	Square pyramidal
ฟิชชัน	fission
ฟิวชัน	fusion
แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย	Conversion factor
มุมงอ	Bent or V-shaped
มุมระหว่างพันธะ	Bond angle

โมเลกุลโคเวเลนต์	Covalent molecule
โมเลกุลมีขั้ว	Polar molecule
โมเลกุลไม่มีขั้ว	Non – polar molecule
ระดับพลังงาน	Energy level
ระดับพลังงานย่อย	Energy sublevel or Subshell
รังสีบีตา	Beta ray
รังสีแกมมา	Gamma ray
รังสีแคโทด	Cathode ray
รังสีแอลฟา	Alpha ray
รัศมีอะตอม	Atomic radius
รัศมีไอออน	Ion radius
รูปตัวที	T-shaped
รูปร่างโมเลกุล	Molecular shape
เรโซแนนซ์	Resonance
แรงแผ่กระจายลอนดอน	London dispersion force
แรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุล	Intramolecular force
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	Intermolecular force
แรงระหว่างขั้ว	Dipole – dipole force
แรงแวนเดอร์วาลส์	Van Der Waals force
เลขมวล	Mass number
เลขออกซิเดชัน	Oxidation number
เลขอะตอม	Atomic number
วัฏจักรบอร์น – ฮาเบอร์	Born – Haber cycle
วิธีการทางวิทยาศาสตร์	Scientific method
วิธีการเทียบหน่วย	Factor label method
เวเลนซ์อิเล็กตรอน	Valence electron

สถานะ	State
สถานะกระตุ้น	Excited state
สถานะพื้น	Ground state
สเปกตรัม	Spectrum
สเปกโทรสโคป	Spectroscope
สภาพละลายได้	Solubility
สมการไอออนิก	Ionic equation
สมการไอออนิกสุทธิ	Net ionic equation
สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน	Electron affinity
สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส	Lewis dot symbol
สามเหลี่ยมแบนราบ	Trigonal planar
สารโคเวเลนต์	Covalent compound
สารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่าย	Covalent network
สารประกอบไอออนิก	Ionic compound
สี่เหลี่ยมแบนราบ	Square planar
สูตรเอมพิริคัล	Empirical formula
สูตรโมเลกุล	Molecular formula
เส้นตรง	Linear
เส้นสเปกตรัม	Spectrum line
แสงขาว	White light
แสงที่มองเห็นได้	Visible light
หมู่	Group
หลอดรังสีแคโทด	Cathode ray tube
หลักอาฟบาว	Aufbau principle
อนุภาค	Particle
อนุภาคในอะตอม	Subatomic particle

อโลหะ	Nonmetal
ออร์บิทัล	Orbital
อะตอม	Atom
อิเล็กตรอน	Electron
อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว	Lone pair electrons
อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ	Bond pair electrons
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	Electronegativity
เอกสารความปลอดภัย	Safety data sheet
แอโนด	Anode
ไอโซโทป	Isotope
ไอโซโทปกัมมันตรังสี	Radioactive isotope
ไอออน	Ion
ไอออนบวก	Cation
ไอออนลบ	Anion

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ไฮโดรเจน	Hydrogen	H	1	1.01
ฮีเลียม	Helium	He	2	4.00
ลิเทียม	Lithium	Li	3	6.94
เบริลเลียม	Beryllium	Be	4	9.01
โบรอน	Boron	B	5	10.81
คาร์บอน	Carbon	C	6	12.01
ไนโตรเจน	Nitrogen	N	7	14.01
ออกซิเจน	Oxygen	O	8	16.00
ฟลูออรีน	Fluorine	F	9	19.00
นีออน	Neon	Ne	10	20.18
โซเดียม	Sodium	Na	11	22.99
แมกนีเซียม	Magnesium	Mg	12	24.30
อะลูมิเนียม	Aluminium	Al	13	26.98
ซิลิคอน	Silicon	Si	14	28.08
ฟอสฟอรัส	Phosphorus	P	15	30.97
กำมะถัน	Sulfur	S	16	32.06
คลอรีน	Chlorine	Cl	17	35.45
อาร์กอน	Argon	Ar	18	39.95
โพแทสเซียม	Potassium	K	19	39.10
แคลเซียม	Calcium	Ca	20	40.08
สแกนเดียม	Scandium	Sc	21	44.96
ไทเทเนียม	Titanium	Ti	22	47.87
วานาเดียม	Vanadium	V	23	50.94
โครเมียม	Chromium	Cr	24	52.00
แมงกานีส	Manganese	Mn	25	54.94
เหล็ก	Iron	Fe	26	55.85

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
โคบอลต์	Cobalt	Co	27	58.93
นิกเกิล	Nickel	Ni	28	58.69
ทองแดง	Copper	Cu	29	63.55
สังกะสี	Zinc	Zn	30	65.38
แกลเลียม	Gallium	Ga	31	69.72
เจอร์เมเนียม	Germanium	Ge	32	72.63
สารหนู	Arsenic	As	33	74.92
ซีลีเนียม	Selenium	Se	34	78.97
โบรมีน	Bromine	Br	35	79.90
คริปทอน	Krypton	Kr	36	83.80
รูบิเดียม	Rubidium	Rb	37	85.47
สตรอนเชียม	Strontium	Sr	38	87.62
อิตเทรียม	Yttrium	Y	39	88.91
เซอร์โคเนียม	Zirconium	Zr	40	91.22
ไนโอเบียม	Niobium	Nb	41	92.91
โมลิบดีนัม	Molybdenum	Mo	42	95.95
เทคนีเชียม	Technetium	Tc	43	-
รูทีเนียม	Ruthenium	Ru	44	101.07
โรเดียม	Rhodium	Rh	45	102.91
แพลเลเดียม	Palladium	Pd	46	106.42
เงิน	Silver	Ag	47	107.87
แคดเมียม	Cadmium	Cd	48	112.41
อินเดียม	Indium	In	49	114.82
ดีบุก	Tin	Sn	50	118.71
พลวง	Antimony	Sb	51	121.76
เทลลูเรียม	Tellurium	Te	52	127.60

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ไอโอดีน	Iodine	I	53	126.90
ซีนอน	Xenon	Xe	54	131.29
ซีเซียม	Caesium	Cs	55	132.91
แบเรียม	Barium	Ba	56	137.33
แลนทานัม	Lanthanum	La	57	138.91
ซีเรียม	Cerium	Ce	58	140.12
เพรซีโอดิเมียม	Praseodymium	Pr	59	140.91
นีโอดิเมียม	Neodymium	Nd	60	144.24
โพรมิเทียม	Promethium	Pm	61	-
ซาแมเรียม	Samarium	Sm	62	150.36
ยูโรเพียม	Europium	Eu	63	151.96
แกโดลิเนียม	Gadolinium	Gd	64	157.25
เทอร์เบียม	Terbium	Tb	65	158.93
ดิสโพรเซียม	Dysprosium	Dy	66	162.50
โฮลเมียม	Holmium	Ho	67	164.93
เออร์เบียม	Erbium	Er	68	167.26
ทูลเลียม	Thulium	Tm	69	168.93
อิตเทอร์เบียม	Ytterbium	Yb	70	173.05
ลูทีเซียม	Lutetium	Lu	71	174.97
แฮฟเนียม	Hafnium	Hf	72	178.49
แทนทาลัม	Tantalum	Ta	73	180.95
ทังสเตน	Tungsten	W	74	183.84
รีเนียม	Rhenium	Re	75	186.21
ออสเมียม	Osmium	Os	76	190.23
อิริเดียม	Iridium	Ir	77	192.22
แพลทินัม	Platinum	Pt	78	195.08

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ทองคำ	Gold	Au	79	196.97
ปรอท	Mercury	Hg	80	200.59
แทลเลียม	Thallium	Tl	81	204.38
ตะกั่ว	Lead	Pb	82	207.20
บิสมัท	Bismuth	Bi	83	208.98
พอลโลเนียม	Polonium	Po	84	-
แอสทาทีน	Astatine	At	85	-
เรดอน	Radon	Rn	86	-
แฟรนเซียม	Francium	Fr	87	-
เรเดียม	Radium	Ra	88	-
แอกทิเนียม	Actinium	Ac	89	-
ทอเรียม	Thorium	Th	90	232.04
โปรแทกทิเนียม	Protactinium	Pa	91	231.04
ยูเรเนียม	Uranium	U	92	238.03
เนปทูเนียม	Neptunium	Np	93	-
พลูโทเนียม	Plutonium	Pu	94	-
อะเมริเซียม	Americium	Am	95	-
คูเรียม	Curium	Cm	96	-
เบอร์เคิลียม	Berkelium	Bk	97	-
แคลิฟอร์เนียม	Californium	Cf	98	-
ไอน์สไตเนียม	Einsteinium	Es	99	-
เฟอร์เมียม	Fermium	Fm	100	-
เมนเดเลวีเยียม	Mendelevium	Md	101	-
โนเบลียม	Nobelium	No	102	-
ลอว์เรนเซียม	Lawrencium	Lr	103	-
รัทเทอร์ฟอร์เดียม	Rutherfordium	Rf	104	-

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ดubenium	Dubnium	Db	105	-
ซีบอร์เกียม	Seaborgium	Sg	106	-
โบห์เรียม	Bohrium	Bh	107	-
ฮาสเซียม	Hassium	Hs	108	-
ไมต์เนเรียม	Meitnerium	Mt	109	-
ดาร์มสตัดเทียม	Darmstadtium	Ds	110	-
เรินต์เกเนียม	Roentgenium	Rg	111	-
โคเปอร์นิเซียม	Copernicium	Cn	112	-
นิโฮเนียม	Nihonium	Nh	113	-
ฟลอร์เวียม	Flerovium	Fl	114	-
มอสโควีเยียม	Moscovium	Mc	115	-
ลิเวอร์มอเรียม	Livermorium	Lv	116	-
เทนเนสซีน	Tennessine	Ts	117	-
อوغانเนสซอน	Oganesson	Og	118	-

บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2548). **การจำแนกประเภทและการติดฉลากสารเคมีที่เป็นระบบเดียวกันทั่วโลก (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals - GHS)**. สืบค้นเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2560, จาก http://www.si.mahidol.ac.th/project/sicsm/news_files/15_1.pdf.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี. (2558). **คู่มือความปลอดภัย ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 6**. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/safety/safetymanual.pdf>.
- ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. (2546). **เหยื่อลูกโป่งปี 2550**. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=2&ID=53>.
- มหาวิทยาลัยมหิดล สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้. (2555). **มลพิษจากโลหะหนัก**. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology>.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). **การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน**. กรุงเทพฯ: สสวท.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). **การวัดผลประเมินผลวิทยาศาสตร์**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรู้เพิ่มเติมเพื่อเสริมศักยภาพวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 เคมี เล่ม 1**. กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **คู่มือวัดผลและประเมินผลวิทยาศาสตร์**. กรุงเทพฯ: ศรีเมืองการพิมพ์.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ. (2555). **ปริมาณรังสี แค่นี้แคไหน**. สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.tint.or.th/nkc/nkc55/content55/nstkc55-086.html>.
- สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน (ประเทศไทย). (2560). **อันตรายจากตะกั่ว: สารพิษมรณะ**. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2560, จาก <http://www.shawpat.or.th/index.php>.

- American Chemical Society. (2016). **Guidelines for Chemical Laboratory Safety in Secondary Schools**. Retrieved October 7, 2016, from <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/acs-secondary-safety-guidelines.pdf?logActivity=true>.
- Aylward, G.H. & Findlay, T.J.V. (2002). **SI Chemical Data**. 5th ed. Queensland : John Wiley & Sons Australia Ltd.
- Baird, C. & Gloffke, W. (2003). **Chemistry in your life**. New York: W.H. Freeman & Company.
- Brown, T.L. & other. (2012). **Chemistry: the central science**. 12th ed. Illinois: Prince-Hall Inc.
- Burdge, J. & Overby, J. (2017). **Chemistry Atom First**. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Bureau International des Poids et Mesures. (2006). **The International System of Units (SI)**. Retrieved December 21, 2016, from http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf.
- Chang, R. (2010). **Chemistry**. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
- David, R.L. (2004). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 85th ed. Florida: CRC Press Inc.
- Dorin, H. & other. (1992). **Chemistry the study of matter**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Earl, B. & Wilford, L.D.R. (2013). **GCSE Chemistry**. 2nd ed. Dubai: Hodder Education.
- Harris, D.C. & Lucy, C.A. (2016). **Quantitative Chemical Analysis**. 9th ed. New York: W.H. Freeman & Company.
- Harwood, R. & Lodge, I. (2011). **Cambridge IGCSE Chemistry Workbook**. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Herr, N. & Cunningham, J. (1999). **Hand-on Chemistry Activities with Real-life Application**. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- International Atomic Energy Agency. (2017). **New Symbol Launched to Warn Public About Radiation Dangers**. Retrieved July 10, 2017, from <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-symbol-launched-warn-public-about-radiation-dangers-0>.
- Kessel, H.V. & other. (2003). **Nelson Chemistry 12**. Ontario: Nelson.

- Lawrie, R. & Roger, N. (2014). **Chemistry Coursebook**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Neuss, G. (2007). **Chemistry Course Companion**. Oxford: Bell and Bain.
- Silberberg, M.S. (2009). **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change**. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Skoog, D.A. & other. (2004). **Fundamentals of Analytical Chemistry**. 8th ed. California: Thomson-Brooks/Cole.
- Talbot, C. & Harwood, R. & Coates, C. (2010). **Chemistry for the IB Diploma**. London: Hodder Education.
- Toon, T.Y. & other. (2013). **Chemistry Matters GCE 'O' Level**. 2nd ed. Singapore: Marshall Cavendish Education.

ที่มาของรูป

รูปปก จาก shutterstock_549121867
 รูปนำบทที่ 3 (หน้า 133) จาก shutterstock_464890301

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 1
 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ดร.พรพรรณ ไวทยากร | ผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. รศ.ดร.สัญญา มิตรเอม | รองผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะผู้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 1
 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินธุ์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. นายณรงค์ศิลป์ ฐูปพนม | ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. ผศ.ดร.จินดา แต้มบรรจง | ผู้ชำนาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นางสาวศศิณี อังกานนท์ | ผู้ชำนาญ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร | ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. นางสาวศิริรัตน์ พริกสี | ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. ดร.สนธิ พลชัยยา | ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 8. นายชาญณรงค์ พูลเพิ่ม | นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 9. นางสาวณัฏฐิกา งามกิจภิญโญ | นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (ฉบับร่าง)

1. ผศ.ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพิณิชธรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นายปิยะพงษ์ กลางจอหอ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร
3. นางชื่นจิตร เดชอุดม	โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
4. นายสาริน ผดุงสวัสดิ์	โรงเรียนเซนต์คาเบรียล กรุงเทพมหานคร
5. นางสาวทองใบ สุขประเสริฐชัย	โรงเรียนคณะราษฎรบำรุง จ.ปทุมธานี
6. นางสาววนิดา อยู่เย็น	โรงเรียนปากเกร็ด จ.นนทบุรี
7. จ.ส.ต.ปวัน ศรีสนธิ	โรงเรียนวัดห้วยจรเข้มหาวิทยาลัย จ.นครปฐม
8. นางสาววิจิตรา จิตสุภา	โรงเรียนอุตรดิตถ์ดรุณี จ.อุตรดิตถ์

คณะบรรณาธิการ

1. ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.เสาวรักษ์ เฟื่องสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพิณิชธรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นายณรงค์ศิลป์ รูปพนม	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้ชำนาญ
5. นางสาวศศิณี อังกานนท์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา
6. นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศึกษาเกี่ยวกับสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมีในระบบ GHS และ NFPA ข้อควรปฏิบัติในการทำปฏิบัติการเคมี ทั้งก่อนทำปฏิบัติการ ขณะทำปฏิบัติการ และหลังทำปฏิบัติการ การกำจัดสารเคมี และการปฐมพยาบาลเมื่อได้รับอุบัติเหตุจากสารเคมี ศึกษาการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการวัด จากความเที่ยงและความแม่นยำ อุปกรณ์วัดปริมาตรและวัดมวล เลขนัยสำคัญ หน่วยวัดระบบเอสไอ แพลกเตอร์เปลี่ยนหน่วย รวมทั้งวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์

ศึกษาแบบจำลองอะตอมของดอลตัน ทอมสัน รัทเทอร์ฟอร์ด โบร์ และแบบกลุ่มหมอก เขียนและแปลความหมายสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ เลขอะตอม เลขมวล ไอโซโทป เขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม ศึกษาความหมายของระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ออร์บิทัล เวเลนซ์อิเล็กตรอน วิวัฒนาการของการสร้างตารางธาตุและตารางธาตุในปัจจุบัน แนวโน้มสมบัติบางประการของธาตุในตารางธาตุตามหมู่และตามคาบเกี่ยวกับขนาดอะตอม ขนาดไอออน พลังงานไอออนไนเซชัน สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน อิเล็กโตรเนกาติวิตี ศึกษาสมบัติของธาตุแทรนซิชัน ธาตุกัมมันตรังสี การเกิดกัมมันตภาพรังสี การสลายตัวและอันตรายจากไอโซโทปกัมมันตรังสี จำนวนครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี ศึกษาปฏิกิริยานิวเคลียร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารกัมมันตรังสี การนำธาตุไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ศึกษาพันธะเคมี สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสและกฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก สูตรเคมีและชื่อของสารประกอบไอออนิก พลังงานกับการเกิดสารประกอบไอออนิก สมบัติของสารประกอบไอออนิก สมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิ การเกิดพันธะโคเวเลนต์ โครงสร้างลิวอิส สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโคเวเลนต์ ความยาวและพลังงานพันธะ เรโซแนนซ์ การคำนวณพลังงานพันธะและพลังงานของปฏิกิริยา รูปร่างและสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและสมบัติของสารโคเวเลนต์ สารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย การเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะ และการนำสารประกอบชนิดต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. บอกและอธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้น และปฏิบัติหน้าที่แสดงถึงความตระหนักในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ทั้งต่อตนเอง ผู้อื่นและสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
๒. เลือกและใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ และวัดปริมาณต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม
๓. ระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร และเปลี่ยนหน่วยวัดให้เป็นหน่วยในระบบเอสไอได้ด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย
๔. นำเสนอแผนการทดลอง ทดลองและเขียนรายงานการทดลอง
๕. สืบค้นข้อมูลสมมติฐาน การทดลองหรือผลการทดลองที่เป็นประจักษ์พยานในการเสนอแบบจำลองอะตอมของนักวิทยาศาสตร์ และอธิบายวิวัฒนาการของแบบจำลองอะตอม
๖. เขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ และระบุจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของอะตอม จากสัญลักษณ์นิวเคลียร์ รวมทั้งบอกความหมายของไอโซโทป
๗. อธิบายและเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักและระดับพลังงานย่อยเมื่อทราบเลขอะตอมของธาตุ
๘. ระบุหมู่ คาบ ความเป็นโลหะ อโลหะ และกึ่งโลหะของธาตุเรฟรีเซนเททีฟ และธาตุแทรนซิชันในตารางธาตุ
๙. วิเคราะห์ และบอกแนวโน้มสมบัติของธาตุเรฟรีเซนเททีฟตามหมู่และตามคาบ
๑๐. บอกสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน และเปรียบเทียบสมบัติกับธาตุโลหะในกลุ่มธาตุเรฟรีเซนเททีฟ
๑๑. อธิบายสมบัติและจำนวนครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสี
๑๒. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำธาตุมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
๑๓. อธิบายการเกิดไอออนและการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส
๑๔. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก
๑๕. คำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไอออนิกจากวัฏจักรบอร์น-ฮาเบอร์
๑๖. อธิบายสมบัติของสารประกอบไอออนิก
๑๗. เขียนสมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก
๑๘. อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสามด้วยโครงสร้างลิวอิส
๑๙. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์
๒๐. วิเคราะห์และเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะในสารโคเวเลนต์ รวมทั้งคำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสารโคเวเลนต์จากพลังงานพันธะ
๒๑. คาคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยใช้ทฤษฎีการผลักกันของคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ และระบุสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์
๒๒. ระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และเปรียบเทียบจุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์
๒๓. สืบค้นข้อมูลและอธิบายสมบัติของสารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่ายชนิดต่าง ๆ
๒๔. อธิบายการเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะ
๒๕. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ ได้อย่างเหมาะสม

รวมทั้งหมด ๒๕ ผลการเรียนรู้



สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ